



Cadernos de Geografia

Nº 53 - 2026

Imprensa da Universidade de Coimbra
Faculdade de Letras | Universidade de Coimbra

Cadernos de Geografia

N.º 53 – 2026

Imprensa da Universidade de Coimbra
Faculdade de Letras | Universidade de Coimbra

Diretor

Paulo Nossa

Assistente Editorial

Marisa das Neves Henriques

Coordenação

Diretor e Subdiretores do Departamento de Geografia e Turismo

Paulo Nossa, Carlos Guerra, Luís Silveira, Adélia Nunes

Coordenador do Centro de Estudos em Geografia e Ordenamento do Território

Norberto Santos

Conselho Científico

Membros do Departamento de Geografia e Turismo

Adélia Nunes, Albano Figueiredo, Alexandra Pereira, Ana Caldeira, António Rochette Cordeiro, Carlos Cardoso Ferreira, Carlos Guerra, Claudete Oliveira Moreira, Cláudia Seabra, Fátima Velez de Castro, Helena Nogueira, Isabel Paiva, João Luís Fernandes, José Gomes, Luca Antonio Dimuccio, Luís Silveira, Miguel Padeiro, Norberto Pinto dos Santos, Nuno Ganho, Paulo Carvalho, Paulo Nossa, Ricardo Almendra, Rui Ferreira de Figueiredo, Rui Gama, Susana Pereira.

Jubilados/Aposentados

António Campar de Almeida, Fernanda Cravidão, João Victor Silva Pereira, Luciano Lourenço, Lucília Caetano, Lúcio Cunha, Maria de Lurdes Roxo Mateus, Paula Santana.

Externos

Adriano Severo Figueiró – Univ. Federal de Santa Maria, Adrielson Almeida – Univ. Federal do Pará, Aguinaldo César Frattucci – Univ. Federal Fluminense, Alexandre Panosso Netto – Univ. de São Paulo, Ana Maria Ferreira – Univ. de Évora, Ana Duque – Univ. de Coimbra, Ana Monteiro – Univ. do Porto, André Botequilha-Leitão – Univ. do Algarve, Andrea Cristina Conceição Lemos – Univ. Federal do Rio Grande do Sul, Angel Carballada – Univ. de Santiago de Compostela, António Alberto Gomes – Univ. do Porto, António José Bento Gonçalves – Univ. do Minho, António Manuel Lopes – Univ. de Lisboa, Antonio Nivaldo Hespanhol – Univ. Estadual Paulista, Antonio Oliveira Jr. – Univ. Federal de Uberlândia, António Vieira – Univ. do Minho, Arlon Ferreira – Univ. Federal de São João del Rei, Assunção Araújo – Univ. do Porto, Augusto Pérez Alberti – Univ. de Santiago de Compostela, Cândida Cadavez – Esc. Sup. de Hotelaria e Turismo do Estoril, Carla Maria Antunes – Univ. Algarve, Carlos Gonçalves – Univ. de Lisboa, Carminda Cavaco – Univ. de Lisboa, Conceição Malveira Diógenes – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará, Cristiane Alcântara Santos – Univ. Federal de Sergipe, Daniel Moreno-Muñoz – Univ. de Múrcia, Diogo de Abreu – Univ. de Lisboa, Dirce Maria Suertegaray – Univ. Federal do Rio Grande do Sul, Eduardo Brito-Henriques – Univ. de Lisboa, Eliane Carine Portela – Univ. de Caxias do Sul, Elsa Pacheco – Univ. do Porto, Elsa Peralta – Univ. de Lisboa, Eugénia Deville – Escola Sup. de Educação de Coimbra, Felipe Pessoa de Melo Mestre Splinter – Centro Universitário AGES - UniAGES, Gil Gonçalves – Univ. de Coimbra, Gilian Evaristo França Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Helena Albuquerque – Univ. Portucalense, Jaime Serra – Univ. de Évora, Isabel Borges – Univ. dos Açores, Jean-Noël Salomon – Univ. de Bordeaux III, Joana Lima – Univ. de Évora, João Azevedo – Instituto Politécnico de Bragança, João Figueira de Sousa – Univ. Nova de Lisboa, João Lima Sant'Anna Neto – Univ. Estadual Paulista – Presidente Prudente, João Mendes Rocha Neto – Univ. de Brasília, João Miguel Silveira – Univ. de Coimbra, João Sarmento – Univ. do Minho, Jodival Maurício – Univ. Federal do Amapá, Jorge Gaspar – Univ. de Lisboa, Johnny Daniel Reis – Univ. de Aveiro, Jorge Marques – Univ. Portucalense, Jorge Luís Pinto Filho – Univ. Federal Rural do Semi-Árido, Jorge Umbelino – Escola Superior de Hotelaria e Turismo do Estoril, Francisco Costa – Univ. do Minho, José Alberto Rio Fernandes – Univ. do Porto, José António Tenedório – Univ. Nova de Lisboa, José Eduardo Ventura – Univ. Nova de Lisboa, José Manuel Simões – Univ. de Lisboa, Josep Panareda – Univ. de Barcelona, Josefa Luiza Cardinale Baptista – Univ. Federal do Amazonas, Maria Madalena Ferreira – CEGOT – Univ. de Coimbra, Maria Noémi Marujo – Univ. de Évora, Marina Monteiro Machado – Univ. Estadual do Rio de Janeiro, Mário Vale – Univ. de Lisboa, Messias Modesto dos Passos – Univ. Estadual Paulista – Presidente Prudente, Miguel Sopas Melo Bandeira – Univ. do Minho, Mónica Brito – Sines Tecnopolo, Nicole Dévy-Vareta – Univ. do Porto, Norma Valencio – Univ. de São Paulo, Nuno Serra – Santa Casa da Misericórdia de Lisboa, Paula Coelho Araújo – Univ. de Coimbra, Paula Maria Simões – Univ. de Évora, Paulo Peixoto – Univ. de Coimbra, Paula Maria Simões – Univ. de Évora, Pedro Casimiro – Univ. Nova de Lisboa, Ramón García Marín – Univ. de Múrcia, Rogério Haesbaert – Univ. Fluminense, Rosemeri Melo e Souza – Univ. Federal de Sergipe, Samuel Lima – Univ. de Uberlândia, Sebastião Pinheiro Gonçalves de Cerqueira Neto – Instituto Federal da Bahia, Sidnei Raimundo – Univ. de São Paulo, Sílvia Quinteiro – Univ. do Algarve, Tatiana Garcia – Univ. São Paulo, Teresa Salgueiro – Univ. de Lisboa, Virgínia Teles – Univ. do Minho, Washington Santos Jr. – Univ. Estadual do Centro-Oeste.

**Toda a correspondência
deve ser dirigida:**

Cadernos de Geografia
Departamento de Geografia e Turismo
Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra
Largo da Porta Férrea
3004-530 COIMBRA – Portugal
Telefone: +351 239 857000 – Fax: +351 239 836733
E-mail: depgeotur@fl.uc.pt
www.uc.pt/fluc/depgeotur

Paginação:

Tiago Serafino

Impressão:

Imprensa da Universidade de Coimbra

Cadernos de Geografia, nº 53 – 2026

ISSN: 0871-1623

ISSN Digital: 2183-4016

DOI: https://doi.org/10.14195/0871-1623_53

ERIPUS (European Reference Index for the Humanities and Social Sciences)

REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico)

ESCI (Emerging Sources Citation Index)

Depósito Legal n.º 2700/83

Tiragem: 100 exemplares

As opiniões expressas são da exclusiva responsabilidade dos autores.

Artigos

Ecoterritório como Unidade Socioecológica Viva: uma reconceptualização para o planejamento territorial contemporâneo

Ecoterritory as a Living Socio-Ecological Unit: a reconceptualisation for contemporary territorial planning

António Manuel Rochette Cordeiro ^{*1}, **Cristine Martins Gomes de Gusmão** ^{**2} e **Neferson Barbosa da Silva Ramos** ^{***3}

¹Universidade de Coimbra – Centro de Estudos Interdisciplinares (CEIS20)

²Programa de Pós-Graduação em Educação em Matemática e Tecnologia (EDUMATEC), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

³Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática e Tecnológica, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Resumo

O conceito de ecoterritório emergiu no contexto português como uma proposta orientada para a valorização das condicionantes biofísicas, do património natural e da sustentabilidade territorial. Apesar do seu interesse teórico e da sua relevância para o ordenamento do território, o conceito permanece insuficientemente consolidado enquanto categoria analítica e operacional, apresentando limitações ao nível da sua definição, dos seus critérios de identificação e da sua aplicabilidade em diferentes contextos territoriais. Partindo desta constatação, o presente artigo propõe uma reconceptualização do ecoterritório à luz dos contributos recentes da literatura sobre sistemas socioecológicos, governança adaptativa, Soluções Baseadas na Natureza (NbS), ciência aberta e educação aberta. Metodologicamente, o trabalho assume a natureza de um estudo conceptual sustentado por uma revisão de escopo, orientada para o mapeamento dos principais usos e interpretações do conceito de ecoterritório em diferentes contextos geográficos e disciplinares. A análise evidencia que a formulação inicial do conceito, embora inovadora, ao recolocar a Geografia Física no centro do debate sobre sustentabilidade territorial, apresenta fragilidades relacionadas com a ausência de critérios operacionais explícitos e com a limitada integração entre diagnóstico biofísico, governança, aprendizagem territorial e monitorização adaptativa. Em resposta a estas limitações, propõe-se compreender o ecoterritório como uma unidade socioecológica viva, definida como um sistema territorial coevolutivo onde processos ecológicos, práticas sociais, dispositivos educativos e formas de governança colaborativa se articulam de forma contínua, adaptativa e aberta. Esta reconceptualização amplia o alcance analítico do conceito e aproxima-o dos referenciais contemporâneos da sustentabilidade territorial adaptativa. Com base nesta proposta, são identificados critérios operacionais para a identificação de ecoterritórios e desenvolvido um modelo integrado estruturado em cinco dimensões

Cadernos de
Geografia

doi: https://doi.org/10.14195/0871-1623_53_1

Recebido a:
28 de abril de 2026
Aprovado a:
3 de junho de 2026

*Email: rochettecordeiro@fl.uc.pt

**Email: cristine.gusmao@ufpe.br

***Email: neferson.barbosa@ufpe.br

interdependentes: biofísica, socioeconómica e cultural, educativa e cognitiva, governança e inovação territorial. Conclui-se que esta abordagem reforça a capacidade do conceito para apoiar processos de planeamento territorial, adaptação climática e desenvolvimento sustentável, contribuindo simultaneamente para a renovação do pensamento geográfico contemporâneo.

Palavras-chave: Ecoterritório. Sistemas socioecológicos. Geografia física. Governança territorial. Soluções Baseadas na Natureza. Sustentabilidade territorial.

Abstract

The concept of ecoterritory emerged in the Portuguese context as a proposal aimed at enhancing biophysical conditions, natural heritage and territorial sustainability. Despite its theoretical relevance and potential contribution to territorial planning, the concept remains insufficiently consolidated as an analytical and operational category, particularly regarding its definition, identification criteria and applicability across different territorial contexts. This article proposes a reconceptualisation of the ecoterritory concept drawing upon recent contributions from the literature on social-ecological systems, adaptive governance, Nature-Based Solutions, open science and open education. Methodologically, the study is developed as a conceptual analysis supported by a scoping review designed to map the principal uses and interpretations of the concept in different geographical and disciplinary contexts. The analysis demonstrates that the original formulation of the concept, although innovative in restoring Physical Geography to a central role in debates on territorial sustainability, presents limitations concerning the absence of explicit operational criteria and the weak integration between biophysical diagnosis, governance, territorial learning and adaptive monitoring. To address these limitations, the article proposes understanding the ecoterritory as a living socio-ecological unit, defined as a co-evolutionary territorial system in which ecological processes, social practices, educational devices and collaborative governance interact in a continuous, adaptive and open manner. Based on this perspective, operational criteria for identifying ecoterritories are proposed and an integrated model structured around five interdependent dimensions is developed: biophysical, socio-economic and cultural, educational and cognitive, governance and territorial innovation. The article concludes that this approach strengthens the capacity of the concept to support territorial planning, climate adaptation and sustainable development while contributing to the renewal of contemporary geographical thought.

Keywords: Ecoterritory. Social-ecological systems. Physical geography. Territorial governance. Nature-Based Solutions. Territorial sustainability.

1. Introdução

Nas últimas décadas, o território assumiu uma centralidade crescente nos debates científicos, técnicos e políticos relacionados com a sustentabilidade, o ordenamento do território e o desenvolvimento regional. Esta centralidade decorre não apenas da valorização do espaço enquanto suporte físico das atividades humanas, mas sobretudo do reconhecimento de que os principais desafios contemporâneos – alterações climáticas, perda de biodiversidade, degradação dos ecossistemas, desigualdades socioespaciais, riscos naturais e crises de governação – possuem uma

expressão territorial concreta e exigem respostas contextualizadas, multiescalares e integradas (Davoudi et al., 2012; Harvey, 2014; Santos, 1996).

Paralelamente, a crescente complexidade dos sistemas territoriais veio evidenciar as limitações dos modelos tradicionais de planeamento e gestão. Estruturados frequentemente em lógicas sectoriais, administrativas e normativas, estes modelos revelam dificuldades na integração simultânea das dimensões ecológicas, sociais, económicas e culturais que configuram os territórios contemporâneos (Healey, 2006). A fragmentação institucional, a dissociação entre o conhecimento científico e a tomada de decisão, bem como a reduzida incorporação dos saberes locais constituem algumas das fragilidades identificadas por diversos autores no âmbito da governança territorial (Berkes & Folke, 1998; Ostrom, 2010).

É neste contexto que emergem conceitos que procuram superar as dicotomias tradicionais entre ambiente e desenvolvimento, natureza e sociedade, conservação e utilização dos recursos. Entre estes conceitos destacam-se as noções de socioecossistema, governança adaptativa, Soluções Baseadas na Natureza (Nature-Based Solutions – NbS), bioregião, living lab territorial e, mais recentemente, ecoterritório. Embora provenham de tradições científicas distintas, estas abordagens convergem na valorização do território como sistema complexo, dinâmico e coevolutivo, onde processos biofísicos, práticas sociais e instituições se articulam de forma permanente (Folke et al., 2005, 2016).

No contexto português, o conceito de ecoterritório foi formulado por Cordeiro et al. (2014) no âmbito de uma reflexão sobre o papel da Geografia Física no planeamento e no desenvolvimento sustentável. Os autores defenderam que as condicionantes biofísicas não deveriam ser entendidas como obstáculos ao desenvolvimento, mas antes como elementos estruturantes de estratégias territoriais sustentáveis. O ecoterritório foi então apresentado como um território que reconhece, valoriza e integra os seus recursos naturais, património ambiental e especificidades ecológicas nos processos de planeamento, educação e governação.

Esta proposta constituiu um contributo relevante para o pensamento geográfico português, particularmente por recolocar a Geografia Física no centro do debate sobre o ordenamento do território e por defender a necessidade de estabelecer uma articulação mais estreita entre conhecimento científico, planeamento estratégico e participação cidadã. Simultaneamente, o conceito procurou estabelecer pontes entre educação, desenvolvimento local e sustentabilidade, conferindo-lhe uma natureza interdisciplinar e integradora.

Todavia, decorrida mais de uma década sobre a sua formulação inicial, verifica-se que o conceito de ecoterritório permanece relativamente pouco consolidado do ponto de vista conceptual e operacional. Apesar da sua utilização em diferentes contextos académicos e institucionais, persistem ambiguidades relativamente aos seus limites analíticos, aos seus critérios de identificação e aos mecanismos que permitem a sua operacionalização em contextos concretos de planeamento territorial. A análise da literatura revela que o ecoterritório tem sido frequentemente mobilizado como categoria normativa ou como instrumento discursivo associado à sustentabilidade territorial, sem que existam critérios claros que permitam distinguir um ecoterritório de outras formas de organização territorial sustentável. Esta indefinição limita a sua

capacidade explicativa e reduz o seu potencial enquanto instrumento de análise e de intervenção territorial.

Por outro lado, a evolução recente da investigação – em áreas como os sistemas socioecológicos, a governança adaptativa, as Soluções Baseadas na Natureza, a ciência aberta e a educação aberta – introduziu novos referenciais teóricos que não estavam plenamente consolidados aquando da formulação inicial do conceito. Estas abordagens oferecem contributos relevantes para repensar o ecoterritório enquanto categoria territorial capaz de responder aos desafios da sustentabilidade, da resiliência climática e da justiça territorial.

Particular relevância assume a literatura sobre sistemas socioecológicos, que entende os territórios como sistemas adaptativos complexos resultantes da interação contínua entre componentes ecológicas e sociais (Berkés & Folke, 1998; Folke et al., 2016; Ostrom, 2010). Nesta perspetiva, a sustentabilidade não é entendida como um estado final, mas como um processo permanente de adaptação, aprendizagem e reorganização.

De igual modo, as Soluções Baseadas na Natureza têm vindo a assumir crescente importância nas agendas científicas e políticas internacionais, ao promoverem respostas integradas para desafios ambientais, sociais e económicos através da proteção, gestão sustentável e restauro dos ecossistemas (Nesshöver et al., 2017; Raymond et al., 2017). Estas abordagens reforçam a necessidade de compreender o território como uma unidade ecológica funcional e não apenas como um espaço administrativo ou político.

Simultaneamente, os movimentos de ciência aberta e de educação aberta vieram introduzir novas formas de produção, circulação e apropriação do conhecimento, valorizando a colaboração, a participação cidadã, os dados abertos e os Recursos Educativos Abertos (Weller, 2014; Cronin, 2017; Deimann & Farrow, 2013; UNESCO, 2019). Estes processos têm implicações diretas na forma como os territórios aprendem, inovam e desenvolvem capacidades adaptativas.

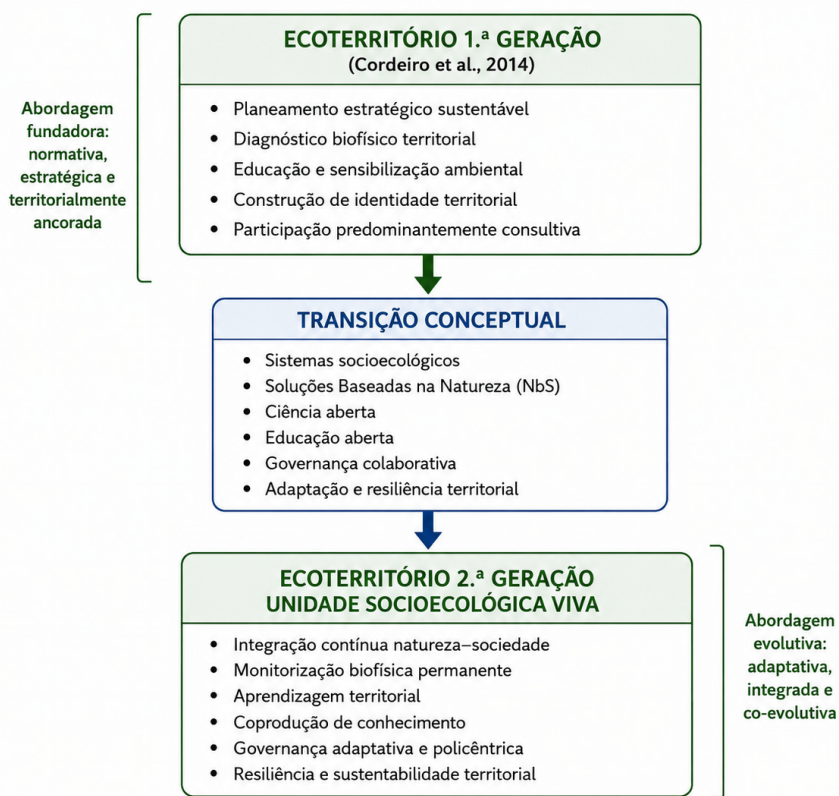
Face a este enquadramento, torna-se pertinente questionar se o conceito de ecoterritório, tal como inicialmente formulado, é suficiente para responder aos desafios territoriais contemporâneos ou se necessita de uma reformulação conceptual que incorpore os avanços teóricos e metodológicos das últimas décadas. O presente artigo parte desta problemática e procura responder à seguinte questão de investigação:

Como pode o conceito de ecoterritório ser reconceptualizado, à luz da literatura internacional e da abordagem dos sistemas socioecológicos, de modo a constituir uma unidade analítica e operacional capaz de apoiar o planeamento territorial sustentável?

Para responder a esta questão, o artigo assume a natureza de um estudo conceptual sustentado por uma revisão de escopo orientada para o mapeamento do conceito de ecoterritório em diferentes contextos geográficos e disciplinares. A partir desta revisão, procede-se à análise crítica da formulação original do conceito, identificando os seus contributos e limitações, e desenvolve-se uma proposta de reconceptualização baseada na integração da Geografia Física, dos sistemas socioecológicos, da governança colaborativa, da educação aberta e das Soluções Baseadas na Natureza.

O principal contributo do artigo consiste na proposta do ecoterritório como unidade socioecológica viva, entendida como um sistema territorial coevolutivo no qual processos ecológicos, práticas sociais, dispositivos educativos e formas de governança se articulam de forma contínua, adaptativa e aberta. Esta abordagem permite ultrapassar a visão predominantemente normativa ou estratégica do ecoterritório e avançar para uma conceptualização mais robusta, operacionalizável e compatível com os desafios contemporâneos do planeamento territorial.

A evolução conceptual proposta neste artigo, desde a formulação original do ecoterritório até à sua reconceptualização como unidade socioecológica viva, encontra-se sintetizada na Figura 1.



Legenda: A figura representa a evolução conceptual do ecoterritório desde a formulação inicial proposta por Cordeiro et al. (2014), centrada na integração entre Geografia Física, planeamento territorial e educação para a sustentabilidade, até à proposta desenvolvida neste artigo, que compreende o ecoterritório como uma unidade socioecológica viva. A transição incorpora contributos provenientes da literatura sobre sistemas socioecológicos, Soluções Baseadas na Natureza, ciência aberta, educação aberta e governança colaborativa, reforçando a capacidade analítica e operacional do conceito para responder aos desafios contemporâneos da sustentabilidade territorial.

Figura 1. Evolução conceptual do ecoterritório: da formulação fundadora à unidade socioecológica viva.

Fonte: elaboração própria.

O artigo estrutura-se em sete secções principais. Após esta introdução, apresenta-se a metodologia adotada. Seguidamente procede-se à análise da genealogia do conceito e dos contributos internacionais mais relevantes. Posteriormente discutem-se os limites da formulação inicial do ecoterritório e desenvolve-se a proposta de reconceptualização. Por fim, apresentam-se critérios operacionais para a identificação de ecoterritórios, um modelo integrado de análise e uma reflexão sobre as implicações da proposta para a Geografia e para o planeamento territorial contemporâneo.

Importa salientar que o presente trabalho não configura um estudo empírico nem uma revisão sistemática de evidências. Trata-se de um artigo conceptual apoiado por revisão de escopo, cujo objetivo central consiste na atualização teórica e operacional do conceito de ecoterritório. Assim, o objetivo deste artigo consiste em reconceptualizar o conceito de ecoterritório à luz dos avanços recentes da literatura sobre sistemas socioecológicos, governança adaptativa, ciência aberta, educação aberta e Soluções Baseadas na Natureza, propondo uma estrutura conceptual e operacional aplicável ao planeamento territorial contemporâneo.

2. Metodologia

2.1. Enquadramento metodológico

O presente trabalho assume a natureza de um estudo conceptual sustentado por uma revisão de escopo (scoping review), orientada para a clarificação, sistematização e reconceptualização do conceito de ecoterritório. Ao contrário das revisões sistemáticas centradas na avaliação da qualidade metodológica dos estudos incluídos, as revisões de escopo procuram mapear conceitos emergentes, identificar lacunas de conhecimento e explorar diferentes interpretações teóricas de um determinado fenómeno (Arksey & O'Malley, 2005; Levac et al., 2010; Peters et al., 2020).

Esta opção metodológica revela-se particularmente adequada face ao reduzido grau de consolidação internacional do conceito de ecoterritório e à diversidade de contextos em que o mesmo é utilizado.

O objetivo não consiste em avaliar evidência empírica sobre impactos ou resultados, mas antes em compreender a evolução conceptual do termo, os seus principais enquadramentos teóricos e as suas potencialidades enquanto instrumento de análise territorial.

2.2. Estratégia de pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi realizada entre janeiro e março de 2025, incidindo sobre bases de dados multidisciplinares e especializadas em ciências sociais, ambientais e territoriais (Barbosa, 2025). Foram consultadas as seguintes fontes:

- Scopus;
- Web of Science;
- ScienceDirect;
- ERIC;

- EBSCOhost;
- Portal de Periódicos CAPES;
- Google Scholar.

Através desta estratégia de pesquisa procurou captar-se diferentes variantes linguísticas do conceito, tendo sido utilizados descritores em português, inglês, francês e espanhol. As principais expressões utilizadas incluíram:

- “ecoterritório”;
- “ecoterritórios”;
- “ecoterritory”;
- “ecoterritories”;
- “écoterritoire”;
- “écoterritoires”;
- “ecoterritorio”;
- “território ecológico”;
- “territorial sustainability” AND “ecology”;
- “social-ecological territory”.

No caso do Google Scholar foram analisadas as primeiras 200 referências ordenadas por relevância, procedimento frequentemente adotado em revisões de escopo quando se utilizam motores de pesquisa não replicáveis (Haddaway et al., 2015).

2.3. Critérios de inclusão e exclusão

Foram considerados estudos elegíveis que cumprissem cumulativamente os seguintes critérios: a) utilização explícita do conceito de ecoterritório ou das suas variantes linguísticas; b) existência de enquadramento conceptual ou analítico associado ao termo; c) relação direta com questões de planeamento territorial, sustentabilidade, governança, conservação da natureza ou educação territorial; d) publicação em revistas científicas, livros, capítulos de livro, teses ou relatórios técnicos com fundamentação académica.

Foram excluídos:

- textos jornalísticos;
- documentos promocionais;
- literatura sem enquadramento conceptual;
- referências repetidas;
- documentos em que o conceito surgia apenas de forma marginal.

2.4. Processo de seleção

A pesquisa inicial permitiu identificar 581 registros. Após eliminação de duplicações e triagem inicial baseada em títulos e resumos, foram selecionados 47 documentos para leitura integral. A aplicação dos critérios de elegibilidade conduziu à constituição de um *corpus* final composto por nove estudos considerados particularmente relevantes para a compreensão da evolução conceptual do ecoterritório. O processo de seleção dos estudos incluídos na revisão de escopo encontra-se sintetizado no Quadro 1.

Quadro 1. Processo de seleção dos estudos incluídos na revisão de escopo

Etapas	Resultado
Registos identificados nas bases de dados consultadas	581
Registos após remoção de duplicados e referências sem pertinência temática	94
Estudos selecionados para análise integral	47
Estudos excluídos após leitura integral	38
Estudos incluídos na síntese conceptual final	9

Fonte: elaboração própria.

A pesquisa bibliográfica permitiu identificar inicialmente 581 registros distribuídos por diferentes bases de dados e motores de pesquisa académica. Após eliminação de duplicações, documentos sem enquadramento conceptual e trabalhos que utilizavam o termo ecoterritório apenas de forma marginal, foram selecionados 94 registros para análise preliminar. A leitura detalhada de títulos, resumos e palavras-chave conduziu à seleção de 47 documentos para leitura integral. A aplicação dos critérios de inclusão e exclusão definidos para a revisão de escopo resultou na constituição de um *corpus* final de 9 estudos considerados relevantes para a análise conceptual do ecoterritório. As diferentes etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos encontram-se representadas na Figura 2.

2.5. Procedimentos de análise

Os estudos selecionados foram submetidos a uma análise temática inspirada na metodologia proposta por Bardin (2011). O processo decorreu em três etapas:

1. **Codificação aberta** – Identificação de conceitos-chave associados ao ecoterritório.
2. **Codificação axial** – Agrupamento dos conceitos em categorias analíticas comuns.
3. **Síntese interpretativa** – Articulação das categorias emergentes com os referenciais dos sistemas socioecológicos, governança territorial, educação aberta e Soluções Baseadas na Natureza.

Os nove estudos que integram o *corpus* final da revisão, bem como os seus principais contributos para a reconceptualização do ecoterritório, encontram-se sistematizados no Quadro 2.

Da análise emergiram cinco dimensões estruturantes:

1. Base biofísica;
2. Dimensão socioeconómica e cultural;
3. Aprendizagem e produção de conhecimento;
4. Governança territorial;
5. Inovação e adaptação.

A relação entre estas categorias emergentes e as dimensões do modelo conceptual proposto encontra-se sintetizada no Quadro 3. Estas dimensões constituem posteriormente a base do modelo conceptual proposto.

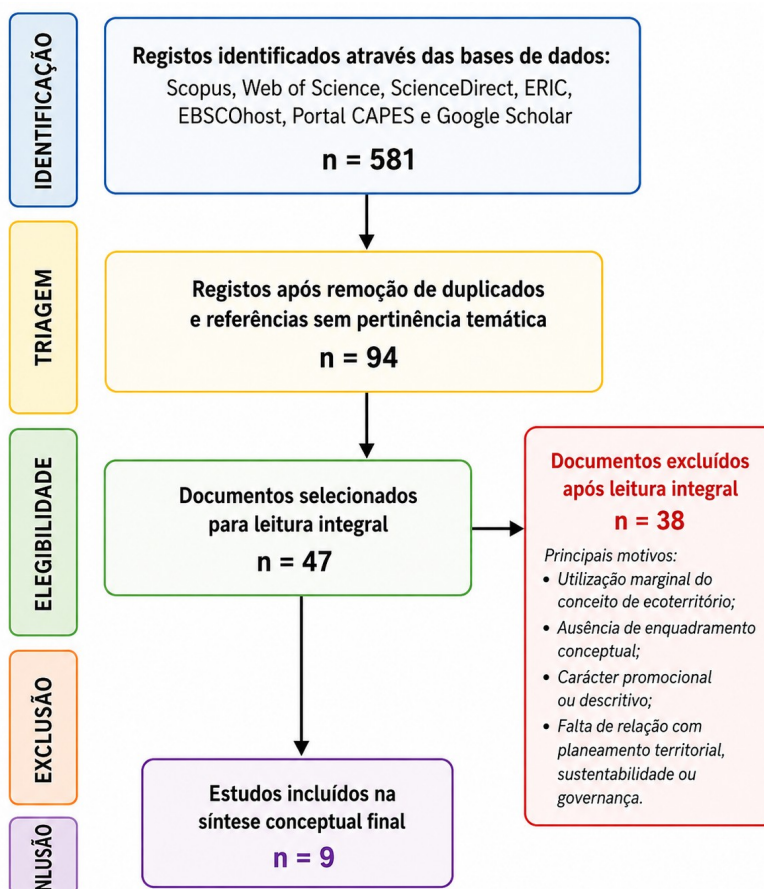


Figura 2. Fluxograma do processo de seleção dos estudos incluídos na revisão de escopo (adaptado de PRISMA-ScR).

Fonte: elaboração própria a partir da revisão de escopo desenvolvida por Barbosa (2025).

Quadro 2. Estudos incluídos na revisão de escopo e respetivos contributos para a reconceptualização do ecoterritório

Autor(es)	Ano	Título abreviado	Tipo	Contexto	Escala	Critérios ecológicos	Governança	Instrumentos	Contributo
Cordeiro et al.	2014	<i>Ecoterritório: Geografia Física e Desenvolvimento Sustentável</i>	Capítulo de livro	Portugal	Regional	Geossistemas, condicionantes biofísicas, riscos naturais	Governança local participativa	Planeamento estratégico, Projeto Educativo Local, Agenda 21	Formulação fundadora do conceito de ecoterritório
Cavalcante, Schettini e Farias Filho	2016	<i>Planeamento urbano sustentável e ecoterritórios metropolitanos</i>	Artigo científico	Fortaleza, Brasil	Metropolitana	Qualidade ambiental urbana, ocupação do solo	Gestão urbana integrada	Planeamento territorial e gestão ambiental	Relação entre sustentabilidade urbana e ecoterritorialidade
Naria et al.	2019	<i>Écoterritoires habités</i>	Artigo científico	Québec, Canadá	Regional	Conservação ecológica, paisagem e biodiversidade	Participação comunitária	Planeamento participativo	Introdução da noção de território habitado
Bikmetov et al.	2024	<i>Desenvolvimento sustentável e territórios ecológicos</i>	Artigo científico	Rússia	Regional	Sustentabilidade ambiental e recursos naturais	Governança colaborativa	Políticas públicas ambientais	Integração entre sustentabilidade e coesão social
Rudenko et al.	2016	<i>Requalificação ecológica de territórios industriais</i>	Artigo científico	Kryvbas, Ucrânia	Urbano-regional	Recuperação ecológica e renaturalização	Gestão multinível	Ecoparques e regeneração territorial	Introdução da dimensão regenerativa
Cornet	2020	<i>Écoterritoires urbains de Montréal</i>	Relatório técnico / estudo aplicado	Montreal, Canadá	Urbano	Conectividade ecológica, infraestrutura verde	Governança metropolitana	Planeamento ecológico urbano	Critérios ecológicos explícitos para delimitação territorial
Cardona e Serra Cantallops	2014	<i>Turismo sustentável em territórios insulares</i>	Artigo científico	Ibiza, Espanha	Insular	Conservação ambiental e capacidade de carga	Governança turística	Planeamento turístico sustentável	Relação entre turismo e sustentabilidade territorial
Aboutayeb	2016	<i>Écotourisme et écoterritoire dans la Réserve de Biosphère de l'Arganaie</i>	Tese / estudo aplicado	Marrocos	Regional	Conservação da biodiversidade e ecossistemas	Gestão participativa	Ecoturismo e conservação	Integração entre património natural e desenvolvimento local
Rincón Castellanos	2018	<i>Ecoterritorio Alto Fucha</i>	Dissertação / estudo comunitário	Bogotá, Colômbia	Comunitário	Recuperação ecológica e justiça ambiental	Governança comunitária	Participação cidadã e educação ambiental	Ecoterritório como instrumento de justiça territorial

Fonte: elaboração própria a partir da revisão de escopo desenvolvida por Barbosa (2025).

Quadro 3. Categorias emergentes da revisão e sua integração no modelo conceptual

Categoria emergente	Estudos onde surge	Dimensão do modelo
Base biofísica	Cordeiro; Cornet; Aboutayeb	Camada biofísica
Planeamento territorial	Cavalcante; Cardona	Camada socioeconómica e territorial
Governança	Naria; Aboutayeb; Rincón Castellanos	Governança
Participação cidadã	Rincón Castellanos; Bikmetov	Governança
Educação e aprendizagem territorial	Cordeiro; Naria	Dimensão educativa
Infraestrutura verde e NbS	Cornet; Rudenko	Inovação e adaptação
Regeneração ecológica	Rudenko; Aboutayeb	Inovação e adaptação

Fonte: elaboração própria.

As cinco dimensões que estruturam o modelo conceptual não foram definidas *a priori*. Resultaram de um processo iterativo de análise temática, no qual as categorias identificadas nos estudos selecionados foram sucessivamente agrupadas segundo afinidades funcionais e conceptuais. A camada biofísica emergiu da recorrência de referências à base ecológica e aos serviços ecossistémicos; a camada socioeconómica e cultural agregou elementos associados à ocupação humana, identidade territorial e atividades económicas; a dimensão educativa e cognitiva resultou das referências à aprendizagem territorial, educação ambiental e produção de conhecimento; a governança consolidou categorias relacionadas com participação e coordenação institucional; e a camada de inovação e adaptação integrou os elementos associados às Soluções Baseadas na Natureza, regeneração ecológica e experimentação territorial.

2.6. Limitações

A principal limitação do estudo decorre da reduzida consolidação internacional do conceito de ecoterritório e da dispersão terminológica existente na literatura. Acresce que o objetivo da investigação não consiste em testar empiricamente um modelo territorial específico, mas antes em desenvolver uma proposta conceptual destinada a apoiar futuras aplicações e investigações.

Neste sentido, os resultados devem ser entendidos como um contributo para a construção teórica e metodológica do conceito, e não como uma validação empírica universal do modelo proposto.

Embora a revisão de escopo tenha permitido identificar tendências conceptuais relevantes e sistematizar os principais contributos existentes na literatura, o reduzido número de estudos encontrados evidencia o carácter ainda emergente do conceito de ecoterritório. Consequentemente, o modelo apresentado deve ser entendido como uma estrutura heurística e interpretativa, suscetível de validação, aprofundamento e refinamento através de futuras aplicações empíricas em diferentes contextos territoriais. Por esta razão, recomenda-se que investigações futuras explorem a aplicação

do modelo em estudos de caso concretos, permitindo avaliar a sua capacidade explicativa, operacional e adaptativa perante distintas realidades territoriais.

2.7. Posicionamento epistemológico

O presente trabalho não pretende testar empiricamente um modelo territorial específico nem produzir generalizações estatísticas. Assume-se como um artigo conceptual orientado para a clarificação, atualização e operacionalização do conceito de ecoterritório, recorrendo à revisão de escopo como instrumento de sistematização do conhecimento existente.

3. Genealogia do conceito de ecoterritório

3.1. Território, ambiente e sustentabilidade: antecedentes conceptuais

A emergência do conceito de ecoterritório deve ser compreendida no contexto da evolução do pensamento geográfico e das transformações ocorridas nas abordagens ao desenvolvimento sustentável desde a segunda metade do século XX. Durante grande parte da história da Geografia, o território foi entendido predominantemente como suporte físico das atividades humanas ou como espaço delimitado por relações de poder e administração política. Contudo, a partir das décadas de 1970 e 1980, a crescente consciência dos limites ecológicos do crescimento económico e dos impactos ambientais associados à urbanização e industrialização conduziu a uma revalorização das dimensões ecológicas do território.

Neste contexto, o desenvolvimento sustentável, formalizado pelo Relatório Brundtland (WCED, 1987), constituiu um marco fundamental, ao introduzir a necessidade de compatibilizar crescimento económico, justiça social e conservação ambiental. Esta nova visão influenciou profundamente as políticas territoriais e favoreceu o aparecimento de conceitos como ecodesenvolvimento (Beatley, 2000; Sachs, 1993), planeamento ecológico (McHarg, 1969), eco-região, cidade sustentável, eco-cidade e bioregião. Embora distintos entre si, estes conceitos partilhavam um pressuposto comum: a necessidade de reconhecer que os sistemas territoriais dependem do funcionamento dos sistemas naturais e que a sustentabilidade exige uma articulação entre processos ecológicos e processos sociais.

A Geografia desempenhou um papel relevante nesta evolução conceptual. Autores como Raffestin (1980), Santos (1996), Claval (1999) e Harvey (2014) contribuíram para uma compreensão mais relacional do território, entendido como produto de interações permanentes entre natureza, sociedade, cultura, economia e poder. É neste quadro que começam a surgir as primeiras formulações associadas ao conceito de ecoterritório.

3.2. A formulação portuguesa do conceito

No contexto português, o conceito de ecoterritório foi desenvolvido por Cordeiro et al. (2014) a partir de uma reflexão sobre o papel da Geografia Física no desenvolvimento sustentável e no ordenamento do território. Os autores defendem que as condicionantes biofísicas – geologia, geomorfologia, clima, hidrologia, solos e cober-

tura vegetal – não devem ser encaradas como limitações ao desenvolvimento, mas como elementos estruturantes das estratégias territoriais. O ecoterritório surge assim como um território que reconhece e valoriza os seus recursos naturais, integrando-os nos processos de planeamento, educação e governança. A proposta apresenta três pilares fundamentais:

1. Conhecimento científico do território;
2. Planeamento estratégico sustentável;
3. Educação e participação cidadã.

Um dos aspetos mais inovadores desta formulação reside na valorização explícita da Geografia Física como suporte das decisões territoriais. Num período em que grande parte das abordagens ao desenvolvimento local privilegiava dimensões económicas ou institucionais, o conceito de ecoterritório recolocou a base biofísica no centro da reflexão territorial. Além disso, a proposta procurou articular planeamento, educação e identidade territorial, aproximando-se de perspetivas associadas ao território educador e à ecopedagogia (Gadotti, 2008). A estrutura conceptual do ecoterritório originalmente proposta por Cordeiro et al. (2014) encontra-se representada na Figura 3.

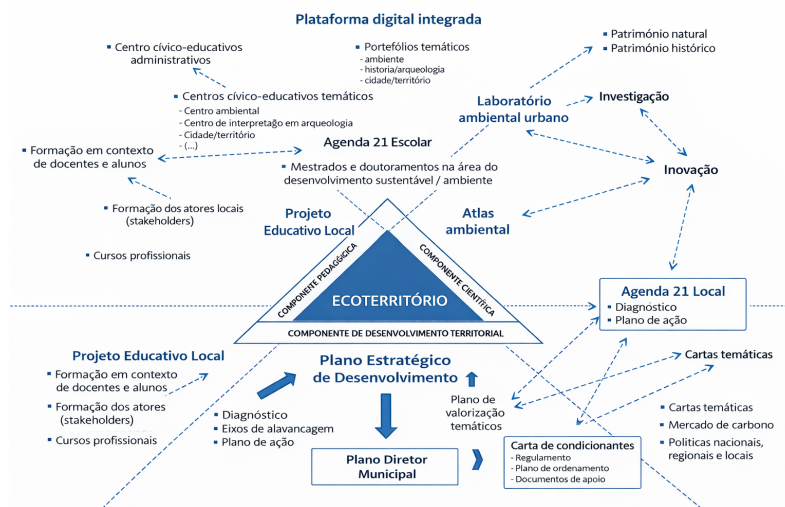


Figura 3. Modelo conceptual do ecoterritório de primeira geração (adap. Cordeiro et al., 2014).

A análise do modelo evidencia uma estrutura predominantemente linear, centrada na relação entre diagnóstico territorial, planeamento e educação, sem explicitar mecanismos permanentes de retroalimentação e adaptação.

3.3. Contributos do ecoterritório de primeira geração

A análise crítica da proposta inicial permite identificar vários contributos relevantes: a) em primeiro lugar, o conceito valorizou a integração entre Geografia Física e planeamento territorial, contrariando tendências de crescente afastamento entre os domínios biofísicos e os processos de tomada de decisão; b) em segundo lugar, reconheceu o papel da educação como instrumento estruturante da sustentabilidade territorial, ultrapassando abordagens exclusivamente técnico-administrativas; c) em terceiro lugar, enfatizou a importância da identidade territorial e da valorização dos recursos endógenos enquanto elementos centrais dos processos de desenvolvimento local.

Estes contributos mantêm plena atualidade e constituem a base sobre a qual a presente proposta de reconceptualização é construída.

3.4. Limitações da formulação inicial

Apesar da sua relevância, a análise da proposta original evidencia igualmente algumas limitações:

- A primeira relaciona-se com a reduzida operacionalização do conceito. Embora o ecoterritório seja apresentado como instrumento de desenvolvimento sustentável, não são definidos critérios objetivos que permitam identificar quando é que um território pode ser considerado um ecoterritório;
- A segunda prende-se com a natureza predominantemente estratégica do conceito. A base biofísica assume um papel central na fase de diagnóstico, mas perde protagonismo nas fases subsequentes de gestão e monitorização;
- A terceira resulta da limitada incorporação de mecanismos de governança adaptativa e de coprodução do conhecimento, aspetos que assumiram crescente relevância na literatura internacional durante a última década.

Finalmente, a proposta antecede a consolidação de referenciais hoje fundamentais, nomeadamente os sistemas socioecológicos, as Soluções Baseadas na Natureza, a ciência aberta e os modelos de governança policêntrica. Estas limitações não diminuem a importância da proposta fundadora; pelo contrário, justificam a necessidade da sua atualização conceptual.

4. Estado da arte internacional e contributos para a reconceptualização

4.1. O ecoterritório na literatura internacional

A revisão de escopo realizada evidencia que o conceito de ecoterritório possui uma expressão relativamente limitada na literatura internacional. Todavia, os trabalhos identificados revelam uma diversidade de aplicações que permitem compreender a evolução do conceito e as suas potencialidades enquanto instrumento de análise

territorial. Apesar das diferenças terminológicas e contextuais, a maioria dos estudos converge em torno de três dimensões fundamentais:

- valorização da base ecológica do território;
- articulação entre conservação e desenvolvimento;
- existência de mecanismos de governança territorial.

Estas convergências sugerem que o ecoterritório pode ser entendido como uma categoria intermédia entre as abordagens ecológicas clássicas e os modelos contemporâneos de sistemas socioecológicos.

4.2. Ecoterritórios insulares e turismo sustentável

Uma parte significativa da literatura francófona associa o conceito de *écoterritoire* à gestão sustentável de territórios insulares. Os casos de La Réunion e de Guadalupe analisados por Aboutayeb (2016) demonstram a utilização do conceito como instrumento de articulação entre conservação ambiental, turismo sustentável e valorização das comunidades locais. Nestes contextos, os ecoterritórios caracterizam-se pela existência de:

- delimitação territorial explícita;
- proteção de ecossistemas sensíveis;
- gestão participada dos recursos naturais;
- integração da atividade turística em estratégias de sustentabilidade.

A principal contribuição destes estudos reside na demonstração de que a sustentabilidade territorial exige mecanismos permanentes de articulação entre objetivos ecológicos e socioeconómicos.

4.3. O ecoterritório habitado do Québec

Uma das experiências mais interessantes identificadas na literatura corresponde ao conceito de *écoterritoire habité*, desenvolvido em diferentes regiões do Québec (Naria et al., 2019). Ao contrário das abordagens centradas exclusivamente na conservação, o ecoterritório habitado procura compatibilizar:

- proteção ambiental;
- atividades económicas;
- permanência das populações;
- participação comunitária.

Esta perspectiva aproxima-se da tradição geográfica europeia ao reconhecer simultaneamente o papel da natureza e da sociedade na construção territorial.

4.4. Ecoterritórios urbanos e normatividade ecológica

O caso de Montreal representa uma das formulações mais avançadas do conceito. Segundo Cornet (2020), os ecoterritórios urbanos são definidos através de critérios ecológicos explícitos, incluindo:

- continuidade ecológica;
- conectividade entre habitats;
- dimensão mínima dos espaços naturais;
- integração em redes de infraestrutura verde.

Neste modelo, o ecoterritório deixa de ser apenas uma narrativa territorial para se tornar uma unidade operacional de planeamento.

4.5. Justiça ambiental e apropriação comunitária

Outra linha de desenvolvimento surge em experiências associadas à justiça ambiental e à participação cidadã. O caso do Ecoterritório Alto Fucha, em Bogotá (Rincón Castellanos, 2018), evidencia a forma como o conceito pode ser mobilizado por comunidades locais na defesa dos seus territórios face a processos de degradação ambiental e exclusão social. Neste contexto, o ecoterritório emerge como instrumento político de reivindicação do direito ao território e do direito ao ambiente.

4.6. Síntese crítica do estado da arte

A análise comparativa dos estudos incluídos na revisão permite identificar três tendências convergentes particularmente relevantes para a compreensão do conceito de ecoterritório.

Em primeiro lugar, observa-se que os diferentes enquadramentos conceptuais atribuem uma importância central à base ecológica do território, traduzida em critérios relacionados com a conservação da biodiversidade, a conectividade ecológica, a funcionalidade dos ecossistemas e a valorização dos serviços ecossistémicos.

Em segundo lugar, a governança territorial emerge como dimensão estruturante na maioria das experiências analisadas, assumindo diferentes configurações institucionais, mas evidenciando, de forma consistente, a importância da coordenação entre atores, da participação social e da gestão colaborativa dos recursos territoriais.

Em terceiro lugar, verifica-se uma crescente valorização dos processos de aprendizagem territorial, do conhecimento local e da participação cidadã, refletindo uma tendência para abordagens mais inclusivas e colaborativas na construção da sustentabilidade territorial.

Apesar destas convergências, a revisão evidencia uma lacuna conceptual significativa. A maioria dos estudos analisados aborda de forma isolada as dimensões ecológi-

cas, sociais ou institucionais do ecoterritório, sendo ainda escassas as abordagens que articulam explicitamente ecoterritório, educação aberta, ciência aberta e coprodução do conhecimento. Esta lacuna constitui uma oportunidade de aprofundamento teórico e metodológico, justificando a proposta de reconceptualização apresentada nas secções seguintes. Nessa perspectiva, o ecoterritório é entendido como uma unidade socioecológica viva, assente na integração dinâmica entre sistemas ecológicos, práticas sociais, processos educativos e mecanismos de governança colaborativa, numa abordagem orientada para a sustentabilidade, a adaptação e a aprendizagem territorial.

5. Limites do ecoterritório de primeira geração e necessidade de atualização conceptual

5.1. Um conceito pioneiro perante novos desafios territoriais

A análise desenvolvida nas secções anteriores evidencia que o conceito de ecoterritório constituiu uma proposta inovadora no contexto da Geografia portuguesa ao recolocar a Geografia Física no centro das estratégias de desenvolvimento sustentável e ao defender uma articulação entre conhecimento científico, educação e planeamento territorial (Cordeiro et al., 2014). Contudo, a evolução das dinâmicas territoriais e dos referenciais teóricos internacionais ocorrida durante a última década veio expor algumas limitações inerentes à formulação inicial do conceito.

Estas limitações não devem ser entendidas como fragilidades da proposta fundadora, mas antes como consequência da emergência de novos desafios ambientais, sociais e institucionais que exigem instrumentos analíticos mais integrados e adaptativos. Entre estes desafios destacam-se:

- a intensificação das alterações climáticas;
- o aumento da frequência e intensidade dos riscos naturais;
- a perda acelerada de biodiversidade;
- a crescente fragmentação ecológica dos territórios;
- a complexificação dos processos de governança;
- a necessidade de integrar diferentes formas de conhecimento nos processos de decisão.

Neste contexto, torna-se necessário evoluir de uma conceção predominantemente estratégica e programática do ecoterritório para uma abordagem mais dinâmica e operacional.

5.2. Quatro limitações estruturais da primeira geração

A análise crítica da literatura permite identificar quatro limitações principais.

a) Ausência de critérios operacionais

O conceito não define explicitamente quais os requisitos mínimos necessários para que um território possa ser considerado um ecoterritório. Esta indefinição dificulta a sua utilização como instrumento analítico e limita a sua comparabilidade entre diferentes contextos territoriais.

b) Predomínio do diagnóstico sobre a monitorização

Na formulação inicial, a Geografia Física assume um papel central no diagnóstico territorial. Contudo, após essa fase inicial, a componente biofísica tende a perder protagonismo nos processos de implementação, gestão e avaliação. Tal situação contrasta com os princípios da gestão adaptativa defendidos por Holling (1978) e Folke et al. (2005), que pressupõem monitorização contínua e aprendizagem permanente.

c) Participação predominantemente consultiva

Embora a participação cidadã seja valorizada, o conceito permanece próximo de modelos clássicos de participação pública, nos quais os cidadãos são consultados, mas não necessariamente envolvidos na coprodução de conhecimento e de decisões.

d) Insuficiente integração dos sistemas socioecológicos

O conceito foi formulado antes da consolidação internacional das abordagens dos sistemas socioecológicos e da governança adaptativa. Consequentemente, a relação entre sistemas ecológicos e sistemas sociais permanece relativamente implícita.

5.3. Da sustentabilidade normativa à sustentabilidade adaptativa

As limitações identificadas sugerem a necessidade de uma mudança conceptual mais profunda. Em vez de compreender o ecoterritório como um estado desejável de sustentabilidade, propõe-se entendê-lo como um processo contínuo de adaptação, aprendizagem e reorganização territorial. Esta mudança aproxima o conceito das abordagens contemporâneas dos sistemas socioecológicos (Berkes & Folke, 1998; Ostrom, 2010; Leff, 2014; Folke et al., 2016) e da governança adaptativa (Dietz et al., 2003). A sustentabilidade deixa de ser encarada como um objetivo final e passa a ser entendida como uma capacidade territorial de adaptação face à mudança.

6. O ecoterritório como unidade socioecológica viva**6.1. Fundamentos conceptuais**

A proposta de reconceptualização apresentada neste artigo assenta na literatura dos sistemas socioecológicos. Segundo Berkes e Folke (1998), os sistemas socioecológicos correspondem a sistemas complexos, nos quais componentes ecológicas e sociais interagem através de processos contínuos de coevolução. Nesta perspetiva, os territórios não constituem simples suportes físicos das atividades humanas, mas sistemas vivos caracterizados por:

- interdependência;

- adaptação;
- resiliência;
- capacidade de aprendizagem;
- reorganização permanente.

Aplicada ao conceito de ecoterritório, esta abordagem implica reconhecer que a sustentabilidade depende simultaneamente:

- do funcionamento dos ecossistemas;
- da qualidade das instituições;
- das práticas sociais;
- da produção e circulação de conhecimento.

6.2. Definição proposta

Com base nos contributos analisados, propõe-se definir ecoterritório como:

“Um sistema territorial coevolutivo no qual processos ecológicos, práticas sociais, dispositivos educativos e formas de governança colaborativa se articulam de modo integrado, adaptativo e aberto, visando a sustentabilidade territorial, a resiliência climática, a justiça socioambiental e a produção partilhada de conhecimento”.

Esta nova interpretação do conceito estrutura-se em torno de cinco dimensões interdependentes, cuja articulação é representada na Figura 4 e que introduz quatro elementos inovadores:

1. Coevolução entre natureza e sociedade;
2. Centralidade da aprendizagem territorial;
3. Governança colaborativa;
4. Produção aberta de conhecimento.

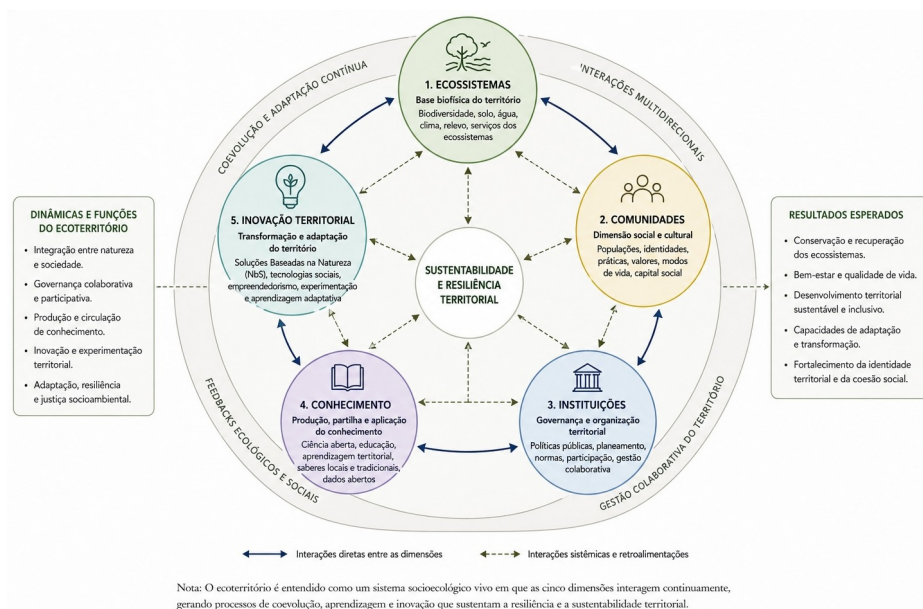


Figura 4. O ecoterritório como unidade socioecológica viva.

Fonte: Elaboração própria.

6.3. Cinco deslocamentos conceituais

A reconceptualização proposta assenta em cinco deslocamentos fundamentais.

Primeiro deslocamento: da marca ao processo

O ecoterritório deixa de ser entendido como uma marca territorial associada à sustentabilidade. Passa a ser concebido como um processo permanente de construção territorial.

Segundo deslocamento: do diagnóstico à permanência biofísica

A Geografia Física deixa de desempenhar apenas uma função diagnóstica. Os sistemas biofísicos passam a integrar continuamente os processos de monitorização e governança.

Terceiro deslocamento: da educação ambiental à ecoterritorialização do conhecimento

A educação deixa de ser encarada apenas como sensibilização. Passa a constituir um mecanismo de produção, circulação e aplicação de conhecimento territorial.

Quarto deslocamento: da participação à coprodução

A participação evolui para formas de governança colaborativa e coprodução de soluções.

Quinto deslocamento: do planeamento ao laboratório vivo

O território passa a ser entendido como um living lab territorial onde políticas públicas, NbS e inovações sociais são continuamente experimentadas e avaliadas (Bulkeley et al., 2019; Cordeiro et al., 2026).

6.4. Soluções Baseadas na Natureza como eixo estruturante

As Soluções Baseadas na Natureza assumem um papel central nesta nova conceptualização. Segundo a IUCN e a Comissão Europeia, as NbS correspondem a ações destinadas a proteger, gerir de forma sustentável e restaurar ecossistemas de modo a responder simultaneamente a desafios ambientais e sociais (Nesshöver et al., 2017). No ecoterritório de segunda geração, as NbS deixam de ser intervenções isoladas. Passam a constituir elementos estruturantes da organização territorial.

Exemplos incluem:

- corredores ecológicos;
- infraestrutura verde e azul;
- renaturalização de linhas de água;
- florestas urbanas;
- sistemas naturais de drenagem;
- agricultura regenerativa.

6.5. Educação aberta e ciência aberta

Uma das principais inovações da proposta reside na integração explícita da educação aberta e da ciência aberta. Ao contrário da formulação inicial, a aprendizagem deixa de ocupar uma posição periférica, passando a constituir um dos pilares estruturantes do ecoterritório. Neste contexto, os Recursos Educacionais Abertos não devem ser entendidos como Soluções Baseadas na Natureza. Mais rigorosamente, podem ser definidos como Infraestruturas cognitivas abertas que apoiam a conceção, implementação, disseminação e avaliação de Soluções Baseadas na Natureza. Esta formulação responde às críticas identificadas pelo parecer e reforça a coerência conceptual do modelo.

7. Critérios operacionais para identificação e avaliação de ecoterritórios

7.1. Porque são necessários critérios?

Uma das fragilidades mais frequentes dos conceitos associados à sustentabilidade reside na ausência de critérios de identificação. Sem critérios mínimos, conceitos como sustentabilidade, resiliência ou regeneração tendem a assumir um carácter excessivamente normativo (Brand & Jax, 2007). O mesmo risco existe para o conceito

de ecoterritório. Essa é a razão pela qual se propõe um conjunto de critérios operacionais mínimos. Neste contexto, e para que um território possa ser considerado um ecoterritório, devem estar presentes, de forma articulada, pelo menos quatro condições mínimas: existência de base ecológica identificada, mecanismos de governança colaborativa, dispositivos de aprendizagem territorial e práticas de monitorização adaptativa.

Quadro 4. Critérios operacionais para identificação de ecoterritórios

Dimensão	Critério
Biofísica	Existência de base ecológica identificada e monitorizada.
Biodiversidade	Presença de conectividade ecológica funcional.
Governança	Estruturas colaborativas de decisão.
Participação	Envolvimento permanente dos atores locais.
Conhecimento	Produção e partilha aberta de informação.
Educação	Dispositivos de aprendizagem territorial.
Sustentabilidade	Integração de NbS.
Avaliação	Sistema de monitorização e indicadores.

Fonte: elaboração própria.

7.2. Um modelo gradual

Os critérios propostos não devem ser entendidos como requisitos absolutos. Pelo contrário, sugerem uma lógica gradual. Essa progressão pode ser interpretada através do modelo de maturidade ecoterritorial apresentado na Figura 5. Tal como acontece com os conceitos de cidade sustentável ou cidade resiliente, os territórios podem apresentar diferentes graus de maturidade ecoterritorial. Esta perspetiva permite utilizar o conceito não apenas para classificação, mas também para diagnóstico e planeamento.

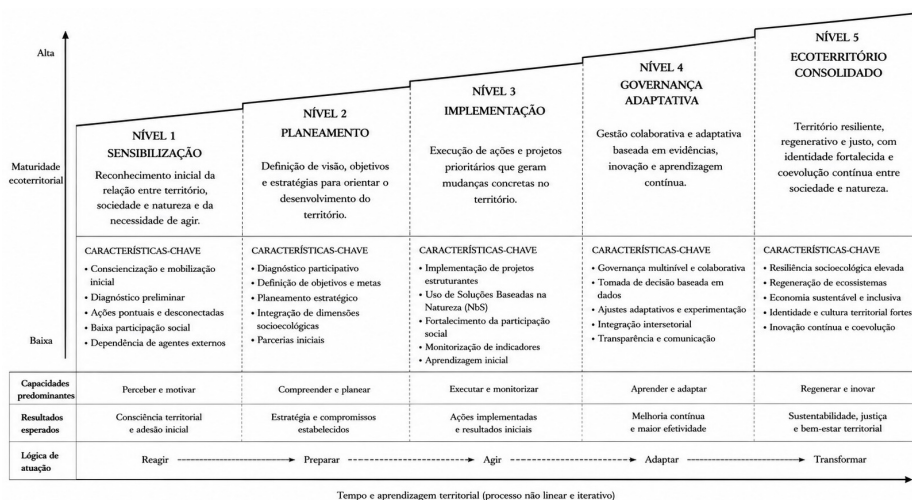


Figura 5. Modelo de maturidade ecoterritorial.

Fonte: Elaboração própria.

7.3. Síntese

A proposta apresentada permite ultrapassar uma conceção predominantemente normativa do ecoterritório e avançar para uma categoria analítica mais robusta. Ao integrar sistemas socioecológicos, governança colaborativa, educação aberta e Soluções Baseadas na Natureza, o ecoterritório passa a ser entendido como uma unidade socioecológica viva, capaz de apoiar processos contemporâneos de planeamento territorial, adaptação climática e desenvolvimento sustentável. Esta reconceptualização constitui o principal contributo teórico do presente artigo e serve de base ao modelo integrado apresentado na secção seguinte.

8. Modelo integrado de ecoterritório: dimensões, operacionalização e implicações territoriais

8.1. Da conceptualização à operacionalização

A reconceptualização do ecoterritório como unidade socioecológica viva exige a construção de um modelo analítico capaz de articular os diferentes elementos identificados ao longo das secções anteriores. Sem um quadro integrador, o conceito corre o risco de permanecer excessivamente abstrato, limitando a sua utilidade para investigadores, técnicos de planeamento e decisores públicos. O modelo aqui proposto não pretende constituir uma matriz normativa rígida nem um instrumento universal de certificação territorial. Pelo contrário, procura oferecer um quadro interpretativo flexível, capaz de apoiar a leitura dos territórios e de orientar processos de planeamento, governança e monitorização adaptativa.

Partindo dos resultados da revisão de escopo e da literatura sobre sistemas socioecológicos (Berkes & Folke, 1998; Ostrom, 2010; Folke et al., 2016), identificam-se

cinco dimensões estruturantes que, em conjunto, configuram o ecoterritório contemporâneo.

8.2. As cinco camadas estruturantes do ecoterritório

1. Camada biofísica

Constitui a base ecológica do sistema territorial e inclui:

- geologia;
- relevo;
- clima;
- hidrologia;
- solos;
- biodiversidade;
- conectividade ecológica;
- riscos naturais.

Esta dimensão corresponde ao suporte material do território e recupera a tradição da Geografia Física enquanto elemento estruturante do ordenamento territorial. Ao contrário do modelo inicial, a componente biofísica não é entendida apenas como fase diagnóstica, mas como elemento permanente de monitorização e avaliação.

2. Camada socioeconómica e cultural

Corresponde à forma como as comunidades utilizam, transformam e atribuem significado ao território. Inclui:

- dinâmicas demográficas;
- atividades económicas;
- património cultural;
- identidade territorial;
- associativismo;
- redes sociais locais.

Esta dimensão reconhece que os territórios não são apenas sistemas ecológicos, mas também construções sociais e culturais.

3. Camada educativa e cognitiva

Uma das principais inovações da proposta. Integra:

- educação formal;
- educação não formal;
- educação informal;
- ciência cidadã;
- recursos educacionais abertos;
- ciência aberta;
- literacia territorial.

O território deixa de ser apenas objeto de aprendizagem para se tornar produtor de conhecimento.

4. Camada de governança

Inclui:

- instituições públicas;
- associações;
- universidades;
- empresas;
- organizações comunitárias.

A governança assume aqui uma lógica colaborativa e policêntrica (Ostrom, 2010), baseada na coprodução de conhecimento e na corresponsabilização dos diferentes atores.

5. Camada de inovação e adaptação

Integra:

- Soluções Baseadas na Natureza (NBS);
- inovação social;
- experimentação territorial;
- monitorização;
- avaliação adaptativa.

Esta camada permite responder a novos desafios territoriais, incluindo adaptação climática, resiliência e justiça ambiental. A articulação entre estas cinco dimensões estruturantes encontra-se representada no modelo integrado do ecoterritório apresentado na Figura 6.



Figura 6. Modelo integrado do ecoterritório.

Fonte: Elaboração própria.

8.3. Operacionalização do modelo

O modelo proposto pode ser aplicado em diferentes escalas:

- local;
- municipal;
- intermunicipal;
- regional.

Pode igualmente ser utilizado em contextos urbanos, rurais ou periurbanos. A sua operacionalização pressupõe:

1. Diagnóstico biofísico;
2. Identificação dos atores territoriais;
3. Avaliação das redes de governança;

4. Levantamento dos processos educativos;
5. Identificação das NbS existentes;
6. Construção de indicadores;
7. Monitorização contínua.

Esta abordagem aproxima-se dos princípios da gestão adaptativa desenvolvidos por Holling (1978) e Folke et al. (2005).

9. Discussão

9.1. O ecoterritório e os sistemas socioecológicos

A reconceptualização proposta aproxima o ecoterritório da literatura sobre sistemas socioecológicos. Contudo, os dois conceitos não são equivalentes.

- O socioecossistema constitui uma categoria analítica ampla, utilizada para compreender as interações entre sistemas humanos e naturais.
- O ecoterritório, pelo contrário, possui uma dimensão territorial explícita, integrando aspetos de planeamento, governança e identidade territorial.

Pode afirmar-se que todo o ecoterritório constitui um sistema socioecológico, mas nem todos os sistemas socioecológicos correspondem a ecoterritórios.

9.2. Ecoterritório e bioregião

A comparação com o conceito de bioregião revela igualmente convergências e divergências. Tal como a bioregião, o ecoterritório reconhece a importância das características ecológicas na definição das unidades territoriais. Todavia, a bioregião privilegia a delimitação ecológica, enquanto o ecoterritório incorpora explicitamente dimensões de governança, educação e inovação territorial. Neste sentido, o conceito apresenta uma maior vocação operacional para o planeamento territorial contemporâneo.

9.3. Ecoterritório e Living Labs territoriais

Nos últimos anos, os Living Labs têm sido amplamente utilizados como instrumentos de inovação territorial (Bulkeley et al., 2019; Cordeiro et al., 2026). O conceito de ecoterritório partilha com esta abordagem:

- experimentação;
- aprendizagem coletiva;
- participação dos atores.

No entanto, diferencia-se pela centralidade atribuída à base biofísica e às relações entre natureza e sociedade. Enquanto os Living Labs podem existir em múltiplos domínios, o ecoterritório possui uma orientação explicitamente socioecológica.

9.4. Implicações para a Geografia

A proposta apresentada possui implicações relevantes para a Geografia contemporânea. Em primeiro lugar, reforça o diálogo entre Geografia Física e Geografia Humana. Em segundo lugar, contribui para ultrapassar dicotomias tradicionais entre natureza e sociedade. Em terceiro lugar, valoriza o papel do conhecimento geográfico na construção de soluções para os desafios da sustentabilidade. Finalmente, reafirma a importância do território como categoria central de análise geográfica.

9.5. Implicações para o planeamento territorial

No domínio do ordenamento do território, o modelo proposto permite:

- integrar conhecimento científico e participação cidadã;
- reforçar a monitorização ambiental;
- promover NbS;
- apoiar processos de adaptação climática;
- melhorar a articulação entre políticas públicas.

A sua principal vantagem reside na capacidade de articular diferentes dimensões frequentemente tratadas de forma separada.

Em termos operacionais, esta integração pode materializar-se através de repositórios territoriais de dados abertos, plataformas digitais participativas, programas de ciência cidadã, observatórios socioambientais locais e sistemas de monitorização colaborativa suportados por indicadores partilhados entre instituições públicas, comunidades e universidades. Estes mecanismos reforçam a transparência, a aprendizagem coletiva e a capacidade adaptativa dos territórios.

9.6. Contributos da experimentação académica e territorial

Embora o presente trabalho assumira natureza conceptual, a proposta de reconceptualização do ecoterritório foi igualmente influenciada por experiências desenvolvidas em contextos académicos, educativos e territoriais associados à formação pós-graduada e à inovação socioambiental.

Em particular, iniciativas relacionadas com educação aberta, ciência aberta, recursos educacionais abertos, ciência cidadã, Living Labs e Soluções Baseadas na Natureza permitiram observar, em diferentes contextos, a importância da aprendizagem territorial, da coprodução de conhecimento e da participação multiactor na construção de respostas aos desafios da sustentabilidade.

Estas experiências reforçam a compreensão do território não apenas como objeto de planeamento, mas como espaço ativo de produção de conhecimento, experimenta-

ção e inovação social, aproximando-se da perspetiva aqui defendida do ecoterritório enquanto unidade socioecológica viva.

10. Conclusões

O presente artigo teve como objetivo principal proceder a uma reconceptualização do conceito de ecoterritório à luz dos contributos recentes da Geografia, dos sistemas socioecológicos, da governança adaptativa, das Soluções Baseadas na Natureza e da educação aberta. A análise desenvolvida demonstrou que a formulação inicial do conceito constituiu um contributo relevante para o pensamento geográfico português ao recolocar a Geografia Física no centro das estratégias de desenvolvimento sustentável e ao promover uma articulação entre conhecimento científico, planeamento e educação.

Todavia, a evolução dos desafios territoriais e dos referenciais teóricos internacionais evidenciou a necessidade de atualizar e aprofundar o conceito. Em resposta a esta necessidade, foi proposta uma nova definição de ecoterritório enquanto unidade socioecológica viva, entendida como um sistema territorial coevolutivo onde processos ecológicos, práticas sociais, dispositivos educativos e formas de governança colaborativa se articulam de forma contínua, adaptativa e aberta.

A principal inovação da proposta reside na integração explícita de cinco dimensões estruturantes: base biofísica, dimensão socioeconómica e cultural, aprendizagem territorial, governança e inovação. Paralelamente, foram definidos critérios operacionais que permitem ultrapassar a natureza excessivamente normativa frequentemente associada aos conceitos de sustentabilidade territorial.

Do ponto de vista científico, o artigo contribui para reforçar o diálogo entre Geografia Física e Geografia Humana, oferecendo uma abordagem integrada capaz de responder aos desafios contemporâneos da sustentabilidade e da adaptação climática. Do ponto de vista aplicado, o modelo proposto constitui uma ferramenta potencialmente útil para investigadores, autarquias, entidades de planeamento e organizações da sociedade civil envolvidas na construção de territórios mais resilientes, inclusivos e sustentáveis.

Importa ainda referir que a proposta aqui apresentada não resulta exclusivamente da análise da literatura internacional, mas também de um percurso de investigação e experimentação desenvolvido em contextos de formação avançada, educação aberta, ciência aberta, inovação territorial e construção colaborativa do conhecimento. As experiências acumuladas em projetos académicos e territoriais orientados para a sustentabilidade, a participação cidadã e as Soluções Baseadas na Natureza contribuíram para consolidar a centralidade das dimensões educativa, cognitiva e colaborativa incorporadas no modelo de ecoterritório de segunda geração.

Neste sentido, o ecoterritório é igualmente entendido como um espaço de aprendizagem coletiva, onde universidades, comunidades, gestores públicos e demais atores territoriais participam da coprodução de conhecimento e da construção de respostas adaptativas aos desafios socioambientais contemporâneos.

Mais do que uma nova designação para territórios sustentáveis, o ecoterritório é aqui entendido como uma forma de compreender e organizar a relação entre natureza,

sociedade e conhecimento, num contexto marcado pela crescente complexidade dos desafios territoriais do século XXI.

Referências

- Aboutayeb, H. (2016). La réserve de biosphère de l'arganeraie: un nouvel écoterritoire touristique au sud du Maroc. *Revue de Géographie du Maroc*, 31, 45–62.
- Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: Towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology*, 8(1), 19–32. <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>
- Barbosa, N. S. R. (2025). *Ecoterritório e educação aberta para sustentabilidade: integração de soluções baseadas na natureza como recursos educacionais abertos na pós-graduação* [Projeto de tese de doutoramento]. Universidade Federal de Pernambuco.
- Bardin, L. (2011). *Análise de conteúdo*. Edições 70.
- Beatley, T. (2000). *Green urbanism: Learning from European cities*. Island Press.
- Berkes, F., & Folke, C. (Ed.). (1998). *Linking social and ecological systems: Management practices and social mechanisms for building resilience*. Cambridge University Press.
- Bikmetov, E., Frolova, I. V., Lukmanova, R., Frolov, K., & Saitbattalov, I. R. (2024). Environmental policy and social solidarity: The problems of interconnection. *EDP Sciences*, 141.
- Brand, F. S., & Jax, K. (2007). Focusing the meaning(s) of resilience: Resilience as a descriptive concept and a boundary object. *Ecology and Society*, 12(1), Article 23. <https://doi.org/10.5751/ES-02029-120123>
- Bulkeley, H., Marvin, S., Palgan, Y. V., McCormick, K., Breidfuss-Loidl, M., Mai, L., von Wirth, T., & Frantzeskaki, N. (2019). Urban living laboratories: Conducting the experimental city? *European Urban and Regional Studies*, 26(4), 317–335. <https://doi.org/10.1177/0969776418787222>
- Cardona & Cantallops, S. (s.d.). Historia del turismo en Ibiza: Aplicación del Ciclo de Vida del Destino Turístico en un destino maduro del Mediterráneo. *Pasos: Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 12(4), 899–913.
- Cavalcante, F. B. S. V., Schettini, M. E. L., & Farias Filho, J. A. (2016). Eco-Territórios e Projeto Urbano: O caso do litoral oeste da Região Metropolitana de Fortaleza. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, 4(28), 32–47. <https://doi.org/10.17271/2318847242820161372>
- Claval, P. (1999). *A Geografia Cultural*. Editora da UFSC.
- Cordeiro, A. M. R., Paredes, L., & Figueiredo, P. (2014). Ecoterritório: uma perspectiva (in)definida sobre a importância da Geografia Física como fator de desenvolvimento territorial. *Atas do VIII Simposio Latinoamericano de Geografia Fisica e IV Simposio Iberoamericano de Geografia Fisica "Riesgos; Vulnerabilidades y Resiliencia Socioambiental para enfrentar los Cambios Globales"*, 1542–1549.
- Cordeiro, A. M. R., Vieira, C., & Lameiras, J. M. (2026). *Feira Nova 2030. Um Living Lab para Clima, Água e Sustentabilidade Territorial. O modelo Cidade-Rios-Reservatório aplicado ao agreste pernambucano: monitoramento microclimático, governança ambiental e ação educativa territorial* (Relatório técnico). Município de Feira Nova/UFPE. Recife, Brasil.
- Cornet, X. (2020). L'infrastructure verte dans l'aire urbaine de Montréal : la multifonctionnalité des espaces végétalisés en question. *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement*, 20(3). <https://doi.org/10.4000/vertigo.28783>

- Cronin, C. (2017). Openness and praxis: Exploring the use of open educational practices in higher education. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 18(5), 15–34. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v18i5.3096>
- Davoudi, S., Shaw, K., Haider, L. J., Quinlan, A. E., Peterson, G. D., Wilkinson, C., Fünfgeld, H., McEvoy, D., & Porter, L. (2012). Resilience: A bridging concept or a dead end? *Planning Theory & Practice*, 13(2), 299–333. <https://doi.org/10.1080/14649357.2012.677124>
- Deimann, M., & Farrow, R. (2013). Rethinking OER and their use: Open education as Bildung. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 14(3), 344–360. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v14i3.1370>
- Folke, C., Biggs, R., Norström, A. V., Meyers, B., & Rockström, J. (2016). Social-ecological resilience and biosphere-based sustainability science. *Ecology and Society*, 21(3), 41.
- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., & Norberg, J. (2005). Adaptive governance of social-ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 30, 441–473. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144511>
- Gadotti, M. (2008). *Educação para a sustentabilidade: Uma contribuição à década da educação para o desenvolvimento sustentável*. Instituto Paulo Freire.
- Harvey, D. (2014). *Seventeen contradictions and the end of capitalism*. Oxford University Press.
- Healey, P. (2006). *Collaborative planning: Shaping places in fragmented societies* (2ª ed.). Palgrave Macmillan.
- Holling, C. S. (1978). *Adaptive environmental assessment and management*. Wiley.
- Leff, E. (2014). *La apuesta por la vida: Imaginación sociológica e imaginarios sociales en los territorios ambientales del sur*. Siglo XXI.
- Levac, D., Colquhoun, H., & O'Brien, K. K. (2010). Scoping studies: Advancing the methodology. *Implementation Science*, 5, 69. <https://doi.org/10.1186/1748-5908-5-69>
- McHarg, I. L. (1969). *Design with nature*. American Museum of Natural History/Natural History Press.
- Naria, O., Van Rheenen, D., Melo, R., & Sobry, C. (2019). Conceiving of islands as eco-territories. Em C. Sobry (Ed.), *Tourism, development and islands* (pp. 51–66). L'Harmattan.
- Nesshöver, C., Assmuth, T., Irvine, K. N., Rusch, G. M., Waylen, K. A., Delbaere, B., Haase, D., Jones-Walters, L., Keune, H., Kovacs, E., Krauze, K., Külvik, M., Rey, F., van Dijk, J., Vistad, O. I., Wilkinson, M. E., & Wittmer, H. (2017). The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. *Science of the Total Environment*, 579, 1215–1227. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.106>
- Ostrom, E. (2010). Beyond markets and states: Polycentric governance of complex economic systems. *American Economic Review*, 100(3), 641–672. <https://doi.org/10.1257/aer.100.3.641>
- Peters, M. D. J., Godfrey, C., McInerney, P., Munn, Z., Tricco, A. C., & Khalil, H. (2020). Scoping Reviews. Em E. Aromataris & Z. Munn (Ed.), *JBIM Manual for Evidence Synthesis*. Joanna Briggs Institute. <https://doi.org/10.46658/JBIMES-20-12>
- Raffestin, C. (1980). *Pour une géographie du pouvoir*. Librairie Droz.
- Raymond, C. M., Frantzeskaki, N., Kabisch, N., Berry, P., Breil, M., Razvan, N., & Calafapietra, C. (2017). A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. *Environmental Science & Policy*, 77, 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.008>

- Rincón Castellanos, M. (2018). Mujeres sujetas políticas: participación democrática en el Ecoterritorio Alto Fucha, Bogotá, Colombia. *Bitácora Urbano Territorial*, 28(2), 57–66. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v28n2.70054>
- Rudenko, T., Mukha, T., & Rudenko, M. (2016). Agrotecreational ecoparks in the quarries territory as a new type of urban production: On the example of Kryvbas. *Budownictwo i Architektura*, 15(4), 41–51. https://doi.org/10.24358/Bud-Arch_16_154_05
- Sachs, I. (1993). *Estratégias de transição para o século XXI: Desenvolvimento e meio ambiente*. Studio Nobel.
- Santos, M. (1996). *A natureza do espaço: Técnica e tempo, razão e emoção*. Hucitec.
- UNESCO. (2019). Recommendation on Open Educational Resources (OER).
- Weller, M. (2014). *The battle for open: How openness won and why it doesn't feel like victory*. Ubiquity Press.
- World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future*. Oxford University Press.

Estrutura fundiária e custos de implementação das faixas e mosaicos de gestão de combustíveis: um estudo em 11 municípios do Centro e Norte de Portugal^a

Land ownership structure and implementation costs of fuel management strips and mosaics: a study of 11 municipalities in Central and Northern Portugal

Ernesto Deus ^{*1}, Catarina Frade ^{**2} e Joaquim Sande Silva ^{***3}

¹Universidade de Coimbra, Centro de Estudos Sociais, Instituto Politécnico de Coimbra, Escola Superior Agrária de Coimbra

²Universidade de Coimbra, Faculdade de Economia e Centro de Estudos Sociais

³Instituto Politécnico de Coimbra, Escola Superior Agrária de Coimbra, Centro de Recursos Naturais Ambiente e Sociedade

^aEste trabalho foi desenvolvido no âmbito de um estudo de avaliação realizado para a Estrutura de Missão do BUPi (eBUPi), financiado pela Secretaria-Geral do Ministério da Justiça.

Resumo

As faixas e os mosaicos de gestão de combustíveis (FGC) são áreas delimitadas nos Programas Sub-Regionais e Municipais do Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais (SGIFR), nos quais é programada a gestão de combustíveis, no âmbito da prevenção e do combate a incêndios. Apesar da sua importância, a concretização desta medida enfrenta constrangimentos pouco conhecidos e discutidos, como a extensão das FGC, os recursos necessários à sua execução, a pequena dimensão dos prédios rústicos e o desconhecimento dos seus titulares. O presente estudo analisou estes aspetos em 11 municípios com elevada perigosidade de incêndio rural nas regiões Centro e Norte de Portugal. A estrutura fundiária e o progresso do cadastro rústico foram analisados através de informação disponibilizada pelo Balcão Único do Prédio (BUPi). As FGC abrangem, em média, 4.845 ha (± 3.058 ha) por município. Os proprietários privados são responsáveis pela gestão de mais de metade da área total em FGC. No final de 2024, o BUPi cobria cerca de um terço dos diferentes tipos de FGC. Nas FGC predomina o minifúndio, com maior fragmentação ao redor de aglomerados populacionais. Uma estimativa conservadora revela um custo médio de 1,09 ($\pm 0,92$) milhões de euros e de 8.970 (± 7.535) jornas de trabalho por município para realizar a gestão, uma única vez, nas FGC. Os resultados deste estudo evidenciam a complexidade da implementação desta medida, bem como os desafios que lhe estão associados, reforçando a necessidade de maior racionalização na gestão e de adoção de estratégias mais sustentáveis, atentando na realidade fundiária e socioeconómica destas áreas.

*Email: ernesto.deus@esac.pt

**Email: cfrade@fe.uc.pt

***Email: jss@esac.pt

Cadernos de
Geografia

doi: https://doi.org/10.14195/0871-1623_53_2

Recebido a:
27 de janeiro de 2026
Aprovado a:
20 de maio de 2026

Palavras-chave: Prevenção de incêndios. Cadastro. BUPi. Custos de gestão. Minifúndio.

Abstract

Fuel management strips and mosaics (FGC) are areas defined in the Sub-Regional and Municipal Programmes of the Integrated Rural Fire Management System (SGIFR) where fuel management is scheduled as part of wildfire prevention and suppression strategies. Despite its importance, the implementation of this measure faces several poorly understood and discussed constraints, such as the extent of FGC, the resources required for their execution, the small size of rural properties, and the lack of knowledge about their ownership. This study analysed these aspects in 11 municipalities with high rural fire hazard in the Central and Northern regions of Portugal. Land ownership structure and the progress of the rural cadastre were analysed using information provided by the Balcão Único do Prédio (BUPi). On average, FGC cover 4,845 ha ($\pm 3,058$ ha) per municipality. Private landowners are responsible for managing more than half of the total FGC area. By the end of 2024, BUPi covered approximately one third of the different types of FGC. Smallholdings dominate within FGC areas, with greater land fragmentation around populated settlements. A conservative estimate indicates an average cost of 1.09 (± 0.92) million € and 8,970 ($\pm 7,535$) workdays per municipality to carry out fuel management operations once within FGC. The results of this study highlight the complexity and challenges of implementing this measure, emphasizing the need for greater rationalisation of management practices and the adoption of more sustainable strategies that take into account the land ownership and socio-economic context of these areas.

Keywords: Wildfire prevention. Cadastre. BUPi. Management costs. Smallholdings.

1. Introdução

Os mosaicos e as faixas de gestão de combustível são áreas que integram as redes de defesa do território, onde se prevê a gestão de combustíveis no âmbito da prevenção e do combate a incêndios rurais (Observatório Técnico Independente *et al.*, 2019; Viegas *et al.*, 2020). Estas áreas, definidas no Decreto-Lei n.º 82/2021, de 13 de outubro, que estabelece o Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais em Portugal Continental (SGIFR), incluem as redes primária, secundária e terciária de faixas de gestão de combustível e áreas estratégicas de mosaicos de gestão de combustível. Existem ainda povoamentos florestais sujeitos a intervenções de silvicultura preventiva que complementam estas redes de defesa. Por conveniência, referimo-nos a todas estas áreas de prevenção estrutural como Faixas de Gestão de Combustível (FGC).

O conjunto de medidas concebido no âmbito da prevenção estrutural contra incêndios era definido em cada município através dos planos municipais de defesa da floresta contra incêndio, enquadrados num conjunto de reformas introduzidas no ano de 2006 pelo Sistema Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios (Decreto-Lei n.º 124/2006, de 28 de janeiro). Este sistema veio a ser substituído em 2021 pelo SGIFR, o qual introduziu um novo conjunto de instrumentos de planeamento que enquadram as FGC, nomeadamente os Programas Regionais de Ação, concebidos à escala das NUTS II (Nomenclatura das Unidades Territoriais), os Programas Sub-Regionais de Ação, à escala das NUTS III e os Programas Municipais de Execução

que operacionalizam o SGIFR à escala municipal. No momento de finalização deste estudo (abril de 2026), a maioria dos programas de nível sub-regional e municipal encontrava-se em elaboração, especialmente nas regiões Centro e Norte.

As FGC cumprem diferentes funções e obedecem a diferentes critérios de localização. A *rede primária*, definida nos Programas Regionais de Ação, é a rede de maior escala, com uma largura padrão de 126 metros, implementada em locais estratégicos para compartimentar grandes áreas (500 a 10.000 ha) e facilitar o combate a incêndios. A *rede secundária*, definida nos programas Sub-Regionais de Ação, tem como funções reduzir os efeitos da passagem do fogo, proteger passivamente bens e pessoas e isolar potenciais focos de incêndio, sendo implementada na envolvente de diferentes tipos de infraestruturas e edificado enquadrados em meio rural, como edificações isoladas, aglomerados populacionais, parques industriais, parques de campismo, redes rodoviária, ferroviária e de transporte e distribuição de energia, entre outros, com larguras variáveis entre 10 e 100 metros, dependendo do elemento a que estão associadas. A *rede terciária*, definida em instrumentos de gestão florestal, tem interesse essencialmente local e cumpre uma função de isolamento de potenciais focos de ignição de incêndios, sendo constituída pelas redes viária, divisional e outras infraestruturas das unidades locais de gestão florestal ou agroflorestal. As *áreas estratégicas de mosaicos de gestão de combustível*, definidas nos Programas Sub-Regionais de Ação, têm dimensão variável e são implementadas em locais estratégicos para condicionar o comportamento e a propagação do fogo na paisagem e minimizar os seus impactos. Os *povoamentos florestais sujeitos a intervenções de silvicultura preventiva*, através do qual se pretende garantir uma descontinuidade horizontal e vertical dos combustíveis para reduzir o perigo de incêndio e aumentar a resistência da vegetação ao fogo, são definidos em instrumentos de gestão florestal, tendo dimensão variável e uma localização estratégica perante cenários de incêndio.

Os programas regionais e sub-regionais do SGIFR apresentam cálculos, a uma escala supramunicipal, da área total de FGC a gerir e dos orçamentos destinados a estes projetos, incluindo a instalação e a manutenção de FGC. Por sua vez, os programas municipais apresentam orçamentos para a gestão de combustíveis de acordo com as tipologias de faixas e com as entidades responsáveis pela gestão de combustíveis. Na análise destes documentos, não se encontrou uma clarificação dos critérios para cálculo destes orçamentos, mas apenas valores de referência generalistas de custo por unidade de área (€ ha^{-1}), de acordo com os diferentes tipos de FGC e as entidades responsáveis pela gestão de combustíveis.

Atualmente, as normas técnicas aplicadas à gestão de combustíveis nas FGC constam de regulamento do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas I. P. (ICNF), homologado pelo Despacho n.º 4223/2025, de 3 de abril, que entrou em vigor em outubro de 2025. O objetivo destas normas é o de eliminar o combustível ou alterar a sua estrutura, de forma a condicionar o comportamento do fogo, facilitando o combate a incêndios e reduzindo os impactos ambientais e socioeconómicos (Observatório Técnico Independente *et al.*, 2019). A gestão dos combustíveis assume particular importância na interface urbano-florestal, contribuindo para a redução da perigosidade de incêndio e da vulnerabilidade das comunidades rurais (Observatório Técnico Independente *et al.*, 2020).

A largura das faixas e os critérios técnicos de gestão de combustíveis dependem da categoria de FGC e do contexto geográfico. A largura das faixas varia entre os 3 metros nas linhas elétricas de baixa tensão e os 126 metros na rede primária (inclui seis metros de estrada). Ao redor de edificações têm uma largura padrão de 50 metros e ao redor de áreas edificadas (aglomerados populacionais) uma largura padrão de 100 metros. Os critérios de gestão de combustíveis incluem a eliminação, total ou parcial, do subcoberto (estratos arbustivo e herbáceo), desde que garantida a descontinuidade horizontal dos combustíveis. Podem incluir a eliminação total ou parcial de árvores, definindo uma distância mínima entre copas de árvores e a sua desramação até determinada altura para quebrar a continuidade vertical dos combustíveis. O Despacho n.º 4223/2025, de 3 de abril, introduziu alguma flexibilidade nestes critérios e a possibilidade de reduzir a largura das faixas consoante o contexto geográfico, em territórios com perigosidade de incêndio média, baixa ou muito baixa. Além disso, possibilitou também a utilização de povoamentos florestais densos com elevado en-sombramento e descontinuidade vertical ou povoamentos florestais de folhosas como sobreiro e azinheira sem continuidade horizontal e vertical do combustível.

A responsabilidade pela gestão de combustíveis nas FGC pode ser atribuída a diferentes entidades, mediante critérios como a categoria de FGC e a titularidade do terreno, sendo possível delegar a gestão noutra entidade ou estabelecer acordos sobre essa gestão entre entidades. Nos casos de intersecção de diferentes categorias de FGC, a gestão pode ser partilhada ou atribuída a uma das entidades. As entidades responsáveis pela gestão de combustíveis incluem os proprietários privados, as autarquias, as entidades gestoras de áreas comunitárias (baldios) ou de territórios com gestão agrupada (Áreas Integradas de Gestão de Paisagem – AIGP e Zonas de Intervenção Florestal – ZIP), o ICNF e as empresas responsáveis por infraestruturas das redes de transportes ou de energia, como a Infraestruturas de Portugal, S. A., a E-REDES – Distribuição de Eletricidade, S. A. e a Redes Energéticas Nacionais, S. A.

É reconhecida a dificuldade em concretizar a gestão nas FGC na generalidade dos municípios, em particular nas áreas sob responsabilidade de autarquias e, principalmente, de proprietários privados. Estão patentes em diferentes diplomas as obrigações legais dos proprietários quanto à autoproteção e à redução do risco de incêndio. Segundo a Lei de Bases Gerais da Política Pública de Solos, de Ordenamento do Território e Urbanismo, os proprietários têm o dever de minimizar o nível de exposição a riscos coletivos (art.º 14.º da Lei n.º 31/2014, de 30 de maio). Segundo o SGIFR, os proprietários devem adotar as melhores práticas de autoproteção e de redução de ignições, e executar a gestão de combustível nas áreas sob sua gestão (artigos 21.º e 22.º do Decreto-Lei n.º 82/2021, de 13 de outubro).

Na base da dificuldade de estabelecer as FGC está a insuficiência de recursos financeiros e logísticos perante a grande extensão de áreas a gerir, tendo também em conta que a gestão de combustíveis é um processo contínuo. Após cada intervenção, a vegetação desenvolve-se novamente com maior ou menor vigor dependendo de vários fatores, como as espécies vegetais presentes, o clima e a litologia (UTAD, 2023). Assim, algumas áreas com maior produtividade podem exigir mais do que uma intervenção anual.

Quando os proprietários incumprem os seus deveres de gestão dos combustíveis, recaí sobre as autarquias a obrigação de os substituir, tendo estas direito ao ressarcimento das despesas realizadas. No entanto, em muitos casos, os titulares da propriedade são desconhecidos, o que impede o exercício do chamado direito de regresso por parte dos municípios. De facto, a inexistência de um cadastro da propriedade rústica completo e atualizado constitui mais um constrangimento conhecido para a concretização das FGC.

Desde os trágicos incêndios de 2003 que a falta de um cadastro rústico tem sido frequentemente apontada como uma das grandes debilidades nas políticas de prevenção de incêndios e de ordenamento do território (Silva *et al.*, 2008). Esta lacuna assume particular gravidade considerando o predomínio da titularidade privada da propriedade em Portugal Continental, representando cerca de 94% da superfície (Beires *et al.*, 2013). A ausência de cadastro ocorre na maioria dos municípios das regiões Centro e Norte de Portugal, onde coincidentemente se verifica uma maior perigosidade e pior histórico de incêndios rurais. Os dados sobre as matrizes prediais indicam a existência de cerca de 9,76 milhões de prédios rústicos nas regiões Centro e Norte, correspondentes a cerca de 91% do total de cerca de 10,68 milhões em Portugal Continental (GTPR, 2022). É também nestas regiões que predomina o minifúndio, registando-se uma dimensão média dos prédios rústicos inferior a 1 ha na maioria dos municípios (DGRF, 2006).

De notar que foi nestas regiões sem cadastro da propriedade rústica que, em 2017, se deu início à execução do Sistema de Informação Cadastral Simplificado e do Balcão Único do Prédio (BUPi), para identificar os proprietários e georreferenciar os limites dos prédios rústicos. O BUPi foi inicialmente aplicado em 10 municípios-piloto¹. Em 2021, foi estendido aos restantes municípios do continente sem qualquer forma de cadastro e, em 2024, passou a abranger também os cinco municípios da Região Autónoma da Madeira sem cadastro. No final de 2025, cerca de 37% das propriedades e 40% da área rústica em Portugal Continental haviam sido identificados no BUPi (BUPi.gov.pt, 2025).

Apesar da importância das FGC nas políticas e estratégias de prevenção e combate aos incêndios, há aspetos essenciais para a sua concretização que têm sido pouco explorados, como a extensão e distribuição das FGC, os recursos necessários para a sua gestão, a estrutura fundiária e o progresso do cadastro (BUPi) nestas áreas. O estudo aqui apresentado pretendeu explorar estes aspetos estruturais das FGC, definindo os seguintes objetivos: a) analisar a distribuição das FGC de acordo com as diferentes categorias e entidades responsáveis pela gestão; b) analisar o progresso do BUPi nas propriedades abrangidas por FGC; c) analisar a estrutura fundiária nas FGC; d) estimar os custos de gestão das FGC. Acreditamos que as respostas obtidas com este estudo poderão contribuir para delinear estratégias mais sustentáveis e eficientes para a prevenção de incêndios e a proteção de pessoas e bens.

¹ Alfândega da Fé, Caminha, Castanheira de Pera, Figueiró dos Vinhos, Góis, Pampilhosa da Serra, Pedrogão Grande, Penela, Proença-a-Nova e Sertão.

2. Métodos

2.1. Municípios estudados

A avaliação da realidade fundiária e dos custos de gestão nas FGC foi realizada num conjunto de 11 municípios (Figura 1), selecionados pelo predomínio de muito alta perigosidade na maioria da sua superfície (>50%), analisada através da carta de perigosidade de incêndio rural (ICNF, 2021), que classifica o território em cinco níveis (de muito baixa a muito alta) com base em variáveis relacionadas com o histórico de incêndios, a orografia e a ocupação do solo. Os 11 municípios distribuem-se por sete distritos e representam uma diversidade de contextos quanto à sua dimensão (entre 12.875 e 47.109 ha), o grau de cobertura do BUPi (entre 10,0% e 47,4%) ou a área total enquadrada em FGC (entre 1.915 e 11.751 ha). Estes municípios podem dividir-se em dois grupos quanto à fase de implementação do BUPi, com quatro municípios da fase piloto do BUPi, com início em 2017, e sete municípios da fase de expansão do BUPi, com início em 2021. Os dados de caracterização dos municípios são disponibilizados em Anexo (Tabela A1).

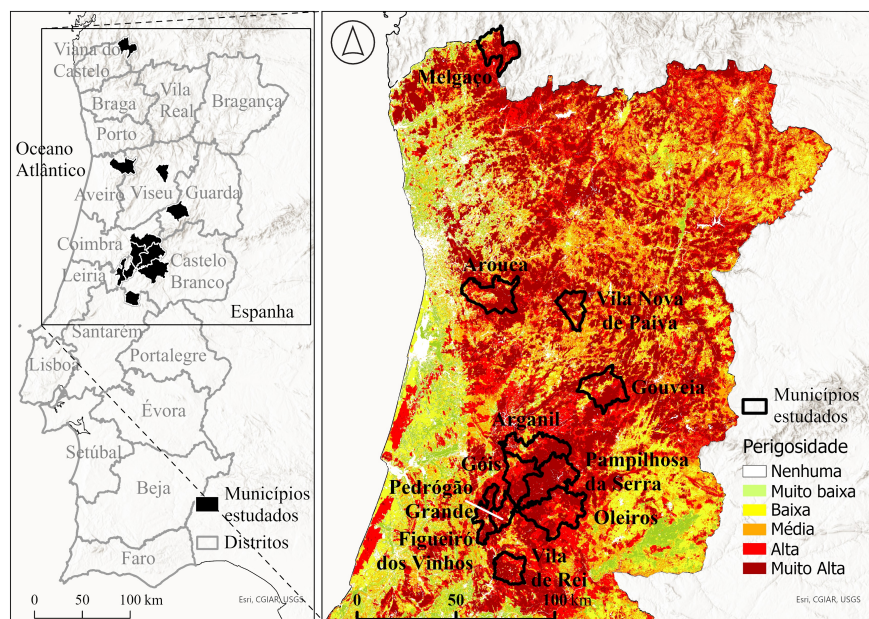


Figura 1. Localização dos municípios estudados sobre a carta de perigosidade de incêndio rural.

Fontes: Limites administrativos (DGT, 2024); Carta de perigosidade de incêndio rural (ICNF, 2021).

Autoria: Deus, Frade e Silva (2026).

2.2. Dados recolhidos

Para o conjunto de municípios estudados, foram recolhidas e preparadas, em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), três camadas de informação espacial: os prédios rústicos do BUPi, as FGC e a ocupação do solo. A camada dos prédios rústi-

cos é constituída pela Representação Gráfica Georreferenciada (RGG) de cada prédio, que materializa os seus limites georreferenciados. As RGG são criadas pelos proprietários ou promotores (representantes) dos prédios em ambiente SIG na plataforma BUPi, de forma autónoma com acesso online, ou nos balcões municipais do BUPi com apoio dos técnicos, para a inscrição dos prédios no BUPi. Esta camada foi obtida a partir do Portal de Dados Abertos da Administração Pública (dados.gov.pt), reportando-se à data de 7 de novembro de 2024. Foram retidos os prédios rústicos enquadrados nos municípios estudados e produzidas duas camadas: uma camada preservou a geometria original dos prédios, incluindo sobreposições entre prédios resultantes de erros e dúvidas na georreferenciação, a qual permitiu produzir resultados como o número total de prédios e a sua dimensão; outra camada resultou da correção das sobreposições entre prédios, permitindo calcular resultados como a área coberta pelo BUPi (%; ha) nos municípios estudados e nas respetivas FGC.

As FGC foram obtidas nos ficheiros dos PMDFCI dos municípios estudados, disponibilizados ao público no sítio do ICNF (ICNF, 2025). Esta camada contém a distribuição das FGC de acordo com um conjunto de atributos como a categoria de FGC (rede primária, mosaicos, faixas ao redor de edificações, etc.), a entidade responsável pela gestão, entre outros. Foram corrigidos erros topográficos nestas camadas, incluindo sobreposições de diferentes faixas. Os critérios técnicos para a produção destas camadas constam do guia técnico para a produção dos PMDFCI (AFN, 2012). Foi harmonizada a terminologia usada nas várias camadas dos municípios para identificar as entidades responsáveis pela gestão de combustíveis, utilizando cinco categorias: “entidades gestoras” (de baldios, ZIF, AIGP); “empresas” (de infraestruturas de transporte e de energias); c) “ICNF”; d) “Autarquias”; e) “Proprietários” (privados). Na categoria de “proprietários” podem estar incluídas empresas de exploração florestal. A descrição das diferentes categorias de FGC é apresentada no Quadro 1.

A ocupação do solo foi obtida na Carta de Ocupação do Solo de Portugal Continental de 2018 (DGT, 2018), que tem uma unidade mínima cartográfica de 1 ha, uma distância mínima entre linhas de 20 m e uma largura mínima de polígonos de 20 m. A nomenclatura original foi reclassificada para quatro classes gerais com interesse para a gestão de combustíveis: “agricultura”, “matos”, “floresta” e “outras” (sem combustíveis). Para algumas análises, foram ainda discriminados os principais tipos de povoamentos florestais: “pinhal”, “eucaliptal”, “outras resinosas” e “outras folhosas”.

Quadro 1. Abreviatura e descrição das categorias das FGC usadas nos PMDFCI

FGC (abreviatura)	Descrição¹
Aglomerados	Faixa exterior de proteção aos aglomerados populacionais com largura mínima de 100 m.
Edificações	Faixa de proteção de 50 m ao redor de edificações, como habitações, estaleiros, armazéns, entre outras.
Linhas energia de média / alta / muito alta tensão	Faixa correspondente à projeção vertical dos cabos condutores exteriores das linhas de transporte e distribuição de energia elétrica em média, alta e muito alta tensão, acrescidos de uma faixa com largura não inferior a 10 m, no caso da alta e muito alta tensão, ou 7 m, no caso da média tensão, para cada um dos lados.
Mosaicos	Mosaicos de parcelas de gestão de combustível implementadas em locais estratégicos, sem dimensões padronizadas.
Parques	Faixa envolvente, de largura mínima não inferior a 100 m, em parques de campismo, infraestruturas de recreio, parques industriais, plataformas de logística, aterros sanitários, entre outros.
Rede primária	Redes primárias de faixas de gestão de combustível, de interesse regional, com uma largura padrão de 126 m.
Rede terciária	Faixa associada à rede terciária de faixas de gestão de combustível, de interesse local, que se apoia nas redes viária, elétrica e divisional, como aceiros e arrifes, das unidades locais de gestão florestal ou agroflorestal.
RPA	Rede de Pontos de Água (RPA). Faixa de proteção imediata, sem obstáculos, aos pontos de água, num raio mínimo de 30 m a partir do seu limite externo.
RVF	Rede Viária Florestal (RVF). Faixa lateral de terreno confinante à rede viária florestal numa largura não inferior a 10 m.
Silvicultura	Ações de silvicultura no âmbito da prevenção de incêndios não inseridas na rede de faixas e mosaico de parcelas de gestão de combustível.

¹ Descrição adaptada do guia técnico dos PMDFCI (AFN, 2012).

2.3. Estimativa dos custos de gestão

Os custos de gestão de combustíveis nas FGC foram estimados tendo como referência os custos tabelados pela Comissão de Acompanhamento para as Operações Florestais (CAOF) para a beneficiação de povoamentos florestais, no ano de 2024 (CAOF, 2024). A CAOF foi criada através do Despacho n.º 11374/2021, de 18 de novembro, integrando representantes de diferentes entidades do setor florestal, com a missão de elaborar e disponibilizar informação sobre os custos das operações florestais para orientar o funcionamento das fileiras florestais. Neste estudo foram estimados custos apenas para áreas classificadas na carta de ocupação do solo como mato e floresta, deixando de fora ocupações do solo como áreas agrícolas ou agroflorestais que são normalmente alvo de gestão recorrente devido ao seu modelo de exploração. Foram consideradas apenas operações de gestão do subcoberto (estratos arbustivo e herbáceo) e omitidas outras operações, como desbastes e desramações, não só por serem realizadas com menor frequência, como por dependem de fatores que não podem ser avaliados nesta escala de análise, como a idade ou a qualidade da estação dos povoamentos florestais. Na tabela de custos da CAOF são apresentados custos mínimos e máximos para cada tipo de operação, determinados por fatores como o declive, grau de pedregosidade, altura da vegetação e, no caso de povoamentos florestais, ainda o número de linhas de árvores por hectare ou a percentagem da área a intervir. Dada a impossibilidade de avaliar todos estes fatores, as estimativas de custos nas FGC adotaram apenas os custos mínimos tabelados ou, nalguns contextos, os custos médios, calculados neste estudo como o valor intermédio entre os custos mínimos e máximos. Os custos médios de gestão foram atribuídos apenas às áreas com declives superiores a 25%. Este limiar de declive é usado na tabela da CAOF, juntamente com outros fatores, para determinar os custos máximos de gestão. O declive foi calculado a partir de um modelo digital de terreno com uma resolução aproximada de 30 metros (Farr *et al.*, 2007).

Para a gestão de áreas de matos foi considerado o tipo de operação denominado na matriz da CAOF por “Controlo da vegetação espontânea total”, executada por “operações mistas” (manuais e mecânicas). Para as áreas de floresta foi considerado o tipo de operação denominado por “Controlo da vegetação espontânea na linha ou de forma localizada”, executada por “operações mistas”. Os custos máximos envolvidos neste tipo de operações foram usados apenas em estimativas de custos em cenários hipotéticos de gestão ao redor de edificações isoladas ou ao longo de infraestruturas lineares. No caso da rede primária, foram estimados também custos de gestão com fogo controlado, dado que é uma técnica de gestão usada com frequência nestas áreas. Segundo a matriz da CAOF, os custos das operações de controlo de vegetação espontânea, quer total, quer na linha ou de forma localizada, consideram “mão de obra especializada, incluindo equipamento”. Por sua vez, os custos de fogo controlado consideram “trabalho especializado (técnico superior), não incluindo a elaboração dos planos de fogo controlado e dos planos de queima, nem a abertura de faixas de contenção”.

Neste estudo foi ainda estimado o número de jornas de trabalho necessário para executar as FGC, de acordo com os valores tabelados na CAOF para o mesmo tipo de

operações florestais. Uma jorna corresponde a um dia de trabalho e permite estimar a produtividade de uma operação em determinada área. Relembre-se, por exemplo, que cinco jornadas por hectare significa que uma pessoa leva cinco dias para realizar o trabalho numa área de um hectare ou que cinco pessoas levam um dia para realizar o mesmo trabalho. Os custos mínimos, médios e máximos para os diferentes tipos de operações, e o respetivo número de jornadas por hectare, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Custos de gestão de combustíveis (€ ha⁻¹) e número de jornadas por ocupação do solo e tipo de operação tabelados em CAOF (2024).

Ocupação do solo [tipo de operação]	Custo mínimo (€ ha ⁻¹) [jornas por hectare]	Custo médio (€ ha ⁻¹) [jornas por hectare]	Custo máximo (€ ha ⁻¹) [jornas por hectare]*
Floresta [controlo na linha ou localizada]	60,86 [0,5]	395,56 [3,25]	730,26 [6]
Mato [controlo total]	486,84 [4]	973,68 [8]	1.460,52 [12]
Mato [fogo controlado]	121,68 [1]	304,20 [2,5]	486,72 [4]

*O custo máximo foi usado apenas em cálculos para cenários hipotéticos.

Foram também estimados custos de gestão em casos concretos de aglomerados populacionais (aldeias e povoações). Para tal, foram escolhidos aleatoriamente, em cada município estudado, dois aglomerados populacionais rodeados por FGC classificadas como faixas ao redor de aglomerados, cuja responsabilidade de gestão recai sobre proprietários privados. O foco em aglomerados populacionais explica-se pela sua particular vulnerabilidade e risco de incêndio, mas também porque, ao contrário de edificações isoladas, as faixas de gestão ao seu redor têm dimensões e geometrias muito variáveis e complexas.

Foram também estimados os custos hipotéticos da gestão em faixas ao redor de edificações isoladas e ao longo de infraestruturas lineares, como as faixas ao longo da rede viária florestal, das linhas de distribuição de energia e da rede primária. Nestes casos, as estimativas de custos tiveram por base cenários hipotéticos a partir da largura padrão das FGC determinada para cada categoria, de modo a obter-se indicadores como o custo por unidade de distância (€ km⁻¹) nas faixas lineares ou o custo por unidade de área (€ ha⁻¹) ao redor de edificações isoladas.

As estimativas de custos de gestão dos combustíveis consideram apenas uma intervenção. Não é considerada a periodicidade das intervenções, que pode variar entre mais do que uma vez num ano até intervalos de alguns anos, porque esta periodicidade está dependente de vários fatores difíceis de avaliar a esta escala de análise, como a estratégia regenerativa da vegetação, a técnica de gestão ou a produtividade da vegetação.

2.4. Análise de dados

Para analisar o progresso anual do BUPi (%) em áreas abrangidas por FGC nos 11 municípios estudados, foram ajustados modelos de regressão em três grupos de municípios: municípios-piloto do BUPi ($n=4$), municípios da fase de expansão do BUPi ($n=7$) e todos ($n=11$). Os dados de cobertura do BUPi incluem uma série de oito anos nos municípios-piloto (2017-2024), de quatro anos nos municípios da fase de expansão (2021-2024) e de oito anos no conjunto de municípios (2017-2024), embora os últimos quatro anos (ano 5, ano 6, ano 7 e ano 8) contemplem apenas dados dos municípios-piloto. Em cada grupo, foi escolhido o modelo com melhor ajuste, avaliado pelos resultados de R^2 e AIC (Akaike Information Criterion).

Foi comparado o grau de cobertura do BUPi (%; ha) entre as diferentes categorias de FGC através de uma Análise de Variância de um fator (ANOVA). Confirmou-se uma distribuição normal através do teste de Shapiro-Wilk, adequado a amostras pequenas ($n=11$), e uma homogeneidade de variâncias entre grupos através do teste de Bartlett.

Foi comparada a dimensão dos prédios rústicos do BUPi entre as diferentes categorias de FGC. Os prédios sobrepostos a mais do que uma categoria de FGC foram duplicados nessas diferentes categorias. Foram removidos valores atípicos (*outliers*) através do método de pontuação-z (z-score), usando o limiar de três desvios-padrão ($z\text{-score} > 3$). Este procedimento removeu 274 registos, passando de 113.670 para 113.396 registos, até uma dimensão máxima de 83,2 ha. A normalidade e homogeneidade das variâncias foram rejeitadas com, respetivamente, os testes de Shapiro-Wilk e de Levene (centrado na mediana). Nas categorias com mais de 5.000 registos foi usada uma subamostragem aleatória de 5.000 registos devido à sensibilidade do teste de Shapiro-Wilk a grandes amostras. Como tal, usou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para comparar as dimensões dos prédios (medianas) nas diferentes categorias de FGC. A comparação entre pares específicos de categorias usou o teste post-hoc de Dunn, com ajuste de Benjamini-Hochberg para controlar a taxa de falso erro em comparações múltiplas.

Foi avaliado se o BUPi está a ser localizado preferencialmente sobre FGC em relação à restante superfície dos municípios. Para tal, foi aplicado um índice de seletividade simples (Manly *et al.*, 2002), de acordo com a fórmula abaixo (1).

$$\text{Seletividade do BUPi em relação a FGC} = \frac{\text{Área do BUPi em FGC} / \text{Área do BUPi total}}{\text{Área de FGC total} / \text{Área do município total}} \quad (1)$$

Nos resultados deste índice, o valor 1 significa que a área BUPi está distribuída proporcionalmente de acordo com a sua disponibilidade. Valores superiores a 1 sugerem uma preferência pelo BUPi sobre essa categoria. Valores inferiores a 1 indicam uma preterição do BUPi por essa categoria. As análises de dados foram realizadas com o programa R (R Core Team, 2025).

3. Resultados

3.1. Características gerais das FGC

As FGC cobrem 53.299 ha no conjunto dos 11 municípios estudados, equivalendo a 17,8% da superfície total destes municípios. Cobrem em média 4.845 ha (± 3.058) por município, variando desde 1.915 ha (8,0% da superfície) até 11.751 ha (39,1%). As faixas ao redor de aglomerados representam 35,5% (18.944 ha) da área de FGC, cobrindo em média 1.984 ha (± 861) por município. Os mosaicos de parcelas, as faixas ao redor de edificações e a rede primária representam entre 15-16% (7.701 - 8.638 ha) da área total das FGC, cobrindo em média 864 ha (± 578), 1.134 ha (± 1730) e 963 ha (± 921) por município, respetivamente. As faixas associadas à rede viária florestal representam 12% das FGC, com uma média de 6.505 ha (± 3.058) por município, e as linhas de transporte de energia (média, alta e muito alta tensão) representam 12% (2.944 ha), com uma média de 268 ha (± 142) por município. As restantes categorias representam menos de 1% da área de FGC neste conjunto de municípios (Figura 2). Exemplos de FGC em alguns dos municípios estudados são apresentados em Anexo (Figuras A1, A2 e A3). A distribuição (ha; %) das categorias de FGC pelos municípios estudados é apresentada em Anexo (Tabela A2).

Os proprietários privados são os responsáveis pela gestão de 54% da área em FGC (28.757 ha), com uma média de 2.614 ha (± 1.608) por município. A área a cargo de proprietários inclui a quase totalidade das faixas ao redor de aglomerados e edificações, e também porções menores de outras categorias como a rede primária (21,0%), as faixas ao redor de parques (11,0%) e da RPA (8,3%). Outras entidades têm a seu cargo a gestão de porções relevantes das FGC, como as autarquias (18,0%; 9.616 ha), o ICNF (13,4%; 7.142 ha), empresas de energia (7,4%; 3.968 ha) e entidades gestoras (7,2%; 3.816 ha).

A análise da ocupação do solo indica que cerca de metade das FGC está classificada como povoamentos florestais (48,0%; 25.607 ha), principalmente povoamentos dominados por pinheiro-bravo (29,0%; 15.480 ha) e, em menor grau, por eucalipto (11,0%; 5.865 ha), outras folhosas (7,3%; 3.889 ha) e outras resinosas (0,7%; 372 ha). Os matos cobrem cerca de um quinto da área em FGC (21,4%; 11.427 ha). As áreas agrícolas cobrem cerca de um quarto das FGC (25,4%; 13.561 ha).

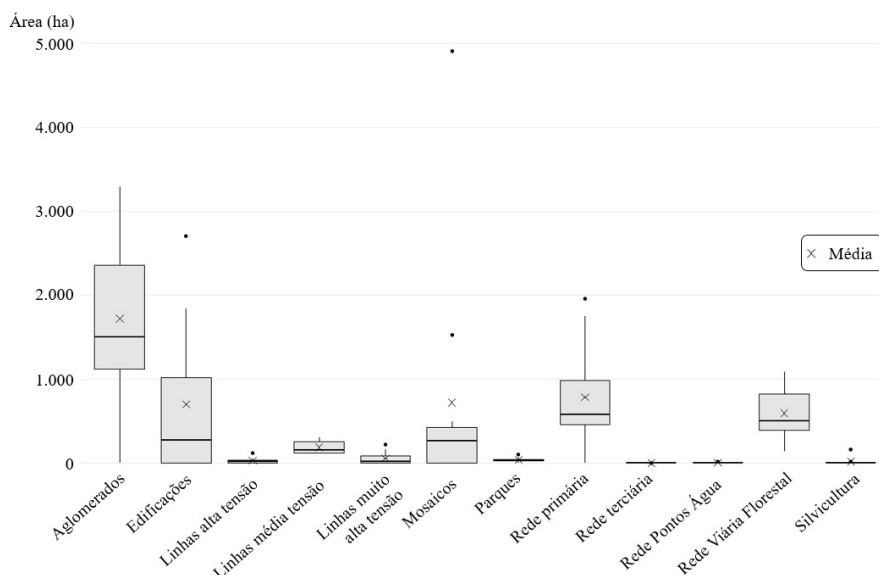


Figura 2. Distribuição (diagramas de caixa) da área (ha) das FGC por categorias nos 11 municípios amostrados.

Autoria: Deus, Frade e Silva (2026).

3.2. Cobertura do BUPi nas FGC

No final de 2024, no conjunto dos municípios estudados, cerca de um terço da área com implementação de FGC estava cadastrada por prédios rústicos inscritos no BUPi (32,7%; 17.432 ha), embora com diferenças consideráveis entre municípios, variando desde um mínimo de 11% (199 ha) até 46% (1.300 ha) (Figura 3). Modelos com regressões logarítmicas encontraram o melhor ajuste para a evolução anual da cobertura do BUPi no total dos municípios ($0,09891 + 18,15382 \cdot \ln(\text{Ano})$; $R^2 = 0,77$) e no grupo da fase piloto ($0,09891 + 18,15382 \cdot \ln(\text{Ano})$; $R^2 = 0,82$), sugerindo um abrandamento do progresso da cobertura nos últimos anos. Uma regressão linear simples deu o melhor ajuste para a evolução do BUPi nos municípios da fase de expansão ($6,639 + 8,77 \cdot \text{Ano}$; $R^2 = 0,66$), onde apenas existiam dados para quatro anos, com um aumento de 8,77% por ano. Nesta análise, o ano 1 corresponde a 2017 nos municípios-piloto (oito anos de dados) e a 2021 nos municípios da fase de expansão (quatro anos de dados) (Figura 3). Os parâmetros dos modelos são apresentados em Anexo (Tabela A3).

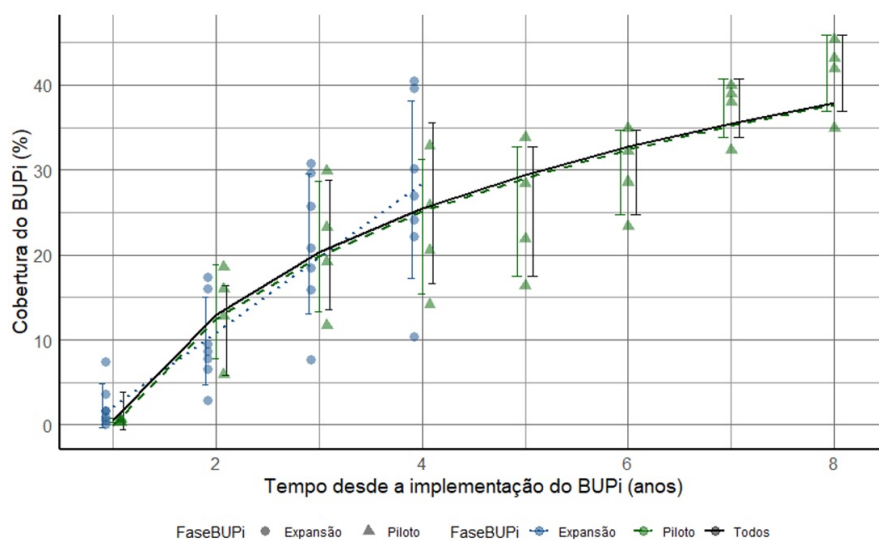


Figura 3. Modelos de regressão ilustrando a evolução da cobertura do BUPi (%) sobre as FGC para os grupos de municípios da fase-piloto, da fase de expansão e todos. Autoria: Deus, Frade e Silva (2026).

Nas principais categorias de FGC, a cobertura média relativa pelos prédios rurais inscritos no BUPi (%) variou desde 27,0% ($\pm 31,3$) nas áreas de mosaicos, até 37,9% ($\pm 24,1$) na rede primária. Foi nestas duas categorias que se observou a maior dispersão de valores entre municípios. Nas restantes categorias, com valores médios de cobertura entre 27,3% e 32,8%, observou-se maior homogeneidade entre municípios. Não foram encontradas diferenças significativas na cobertura do BUPi entre as diferentes categorias de FGC segundo uma análise de variância ($F=0,559$; $p=0,73$) (Figura 4). Os resultados da análise de variância são apresentados em Anexo (Tabela A5).

Não foi confirmada qualquer preferência (seletividade) para o desenvolvimento do BUPi nas FGC em relação ao restante território, quer no conjunto dos municípios, que em cada município estudado. Os Índices de Seletividade mostraram resultados de 1,0 para o conjunto de municípios, e entre 0,8 e 1,2 nos diferentes municípios. Os dados e resultados deste índice são apresentados em Anexo (Tabela A6).

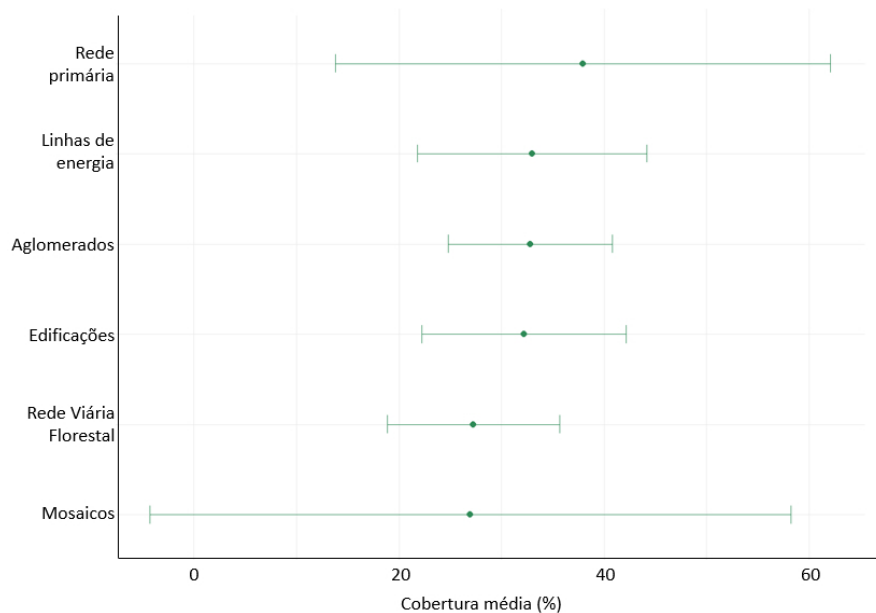


Figura 4. Cobertura média relativa do BUPi (%) nas principais categorias de FGC no conjunto de municípios estudados.

Autoria: Deus, Frade e Silva (2026).

3.3. Caracterização fundiária nas FGC

Em novembro de 2024, existiam 173.665 prédios rústicos inscritos no BUPi nos municípios estudados. De acordo com os dados do BUPi nestes municípios, observava-se um predomínio do minifúndio, com 89,8% dos prédios com dimensão igual ou inferior a 1 ha, incluindo 43,4% dos prédios com dimensão igual ou inferior a 0,1 ha (1.000 m²) e, ainda, 5,5% com dimensão inferior a 0,01 ha (100 m²). A dimensão média dos prédios em cada município é apresentada em Anexo (Tabela A1).

Cerca de metade dos prédios inscritos no BUPi (50%; 87.577) sobrepunha-se total ou parcialmente às FGC, com uma média de 7.961 prédios (± 2.038) por município, variando desde 2.844 (21% do total de prédios no município) até 10.305 (63%). Através de uma extrapolação simples, tendo em conta o número de prédios BUPi já cadastrados e o grau de cobertura das áreas em FGC, estima-se que haja por município uma média de 25.829 prédios rústicos (± 7.424) sobrepostos com as FGC.

Verificaram-se diferenças significativas na dimensão média dos prédios rústicos que se enquadram sobre as diferentes categorias de FGC ($\chi^2(9) = 15529$, $p < 0,001$). Principalmente, destaca-se a reduzida dimensão média dos prédios rústicos localizados sobre as faixas ao redor de aglomerados populacionais (0,25 ha $\pm 1,15$) em relação a todas as outras. Destacaram-se ainda outras categorias de FGC com menor dimensão média dos prédios, como as faixas associadas a parques (0,67 $\pm 1,78$ ha), a linhas de média tensão (0,88 ha $\pm 3,24$) e edificações (0,83 ha $\pm 2,84$), em contraste com outras categorias com valores mais elevados, como a rede primária (1,72 $\pm 5,39$ ha). Todos os valores e resultados do teste post-hoc de Dunn para comparações entre categorias são apresentados em Anexo (Tabela A7).

Tendo por base o número de prédios inscritos no BUPi e a sua cobertura em cada categoria de FGC, realizaram-se extrapolações para estimar a densidade de prédios rústicos usando duas medidas: o número de prédios por área (prédios ha^{-1}) em todas as categorias de FGC, e, no caso de faixas associadas a infraestruturas lineares (rede viária florestal, linhas de distribuição de energia e rede primária), o número de prédios por comprimento de faixa (prédios km^{-1}). A segunda métrica para faixas lineares proporciona uma ideia mais intuitiva do número médio de prédios rústicos encontrados em cada quilómetro percorrido numa destas faixas. Estas análises incluíram apenas as categorias de FGC mais representativas, excluindo aquelas com cobertura residual. Prédios rústicos sobrepostos em mais de uma categoria de FGC foram duplicados nessas categorias.

As densidades mais elevadas, em prédios por hectare, encontraram-se nas faixas associadas à rede viária florestal ($18,1 \pm 9,0$ prédios ha^{-1}) e às linhas de média tensão ($17,9 \pm 6,3$ prédios ha^{-1}). No lado oposto, encontraram-se os mosaicos ($1,8 \pm 2,2$ prédios ha^{-1}) e a rede primária ($1,7 \pm 1,9$ prédios ha^{-1}) (Figura 5). Nas faixas lineares, sob a perspetiva de prédios por quilómetro, as estimativas variaram desde uma média de $4,9 (\pm 3,1)$ prédios km^{-1} nas linhas de muito alta tensão (10 metros de largura) até $22,0 (\pm 23,8)$ prédios km^{-1} na rede primária (126 metros de largura). No caso da rede viária florestal, o valor estimado de $18,1$ prédios km^{-1} ($\pm 9,0$) considera apenas uma berma da estrada, podendo duplicar esta densidade se for considerada uma estrada com faixas em ambas as bermas (Figura 5).

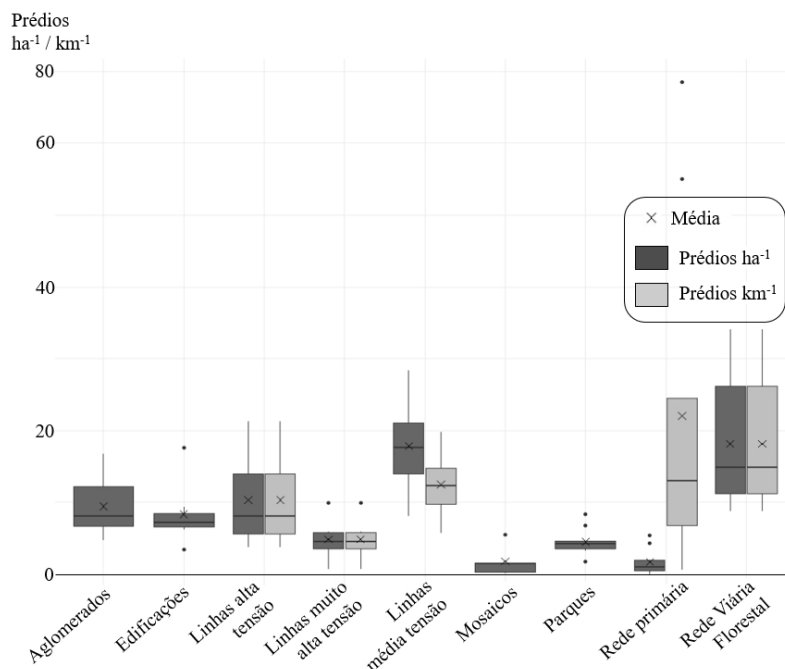


Figura 5. Número de prédios por quilómetro (faixas lineares) e por hectare nas FGC. Autoria: Deus, Frade e Silva (2026).

3.4. Custos de gestão nas FGC

Estima-se que a gestão das FGC, contando uma única intervenção, tenha um custo médio de c. 1,09 milhões de euros (M€) ($\pm 0,92$) por município, correspondendo a uma média de 8.970 jornas de trabalho (± 7.535). As estimativas variam desde 0,14 M€ até 3,25 M€ nos 11 municípios estudados. Os custos estimados de gestão por município são apresentados em Anexo (Tabela A1). Os custos médios mais elevados encontraram-se nos mosaicos (0,51 M€ $\pm 0,45$) e na rede primária (0,30 M€ $\pm 0,21$), onde os matos, por vezes associados a declives elevados, representam a maior parte dos custos. Os custos médios mais reduzidos foram estimados em faixas ao redor de aglomerados (19 M€ $\pm 0,11$) e edificações (0,14 M€ $\pm 0,13$), onde as áreas florestais representam a maior parte dos custos de gestão (Figura 6). Estas categorias de FGC, maioritariamente sob responsabilidade de proprietários privados, somam perto de $\frac{1}{4}$ do total de custos de gestão de combustíveis nestes 11 municípios (24,6%; 2,96 M€). As categorias com menor representatividade foram agrupadas numa categoria denominada “Outras” na Figura 6.

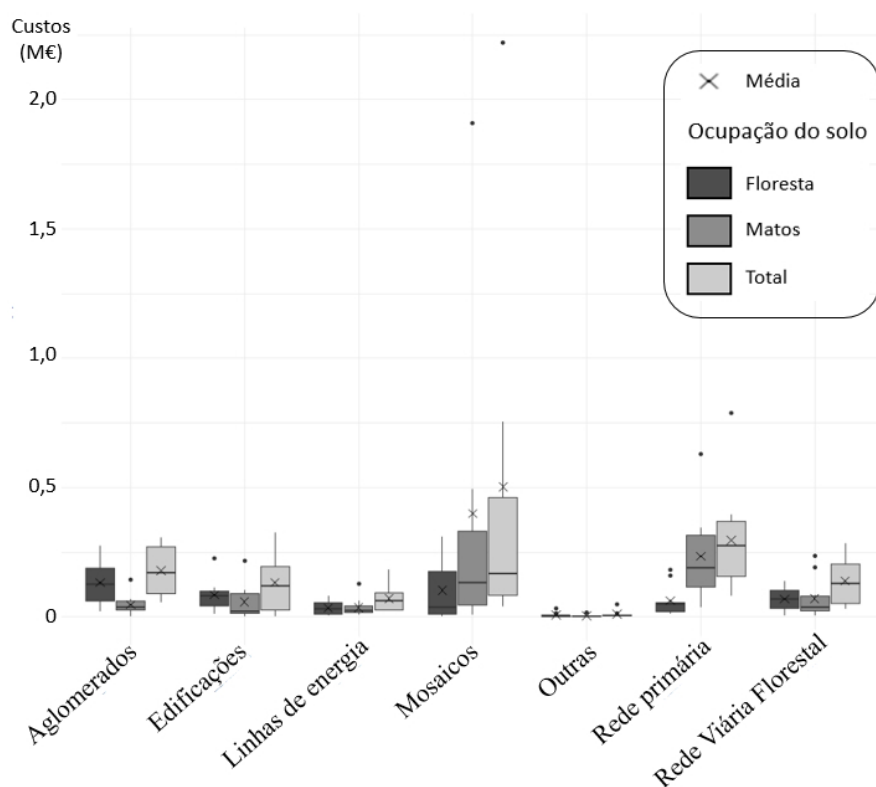


Figura 6. Distribuição dos custos de gestão (€) por categoria de FGC e tipo de ocupação do solo (floresta, matos e ambos / total) nos municípios estudados. Autoria: Deus, Frade e Silva (2026).

Foram estimados custos de gestão nas faixas de gestão ao redor de um conjunto aleatório de 20 aglomerados populacionais, correspondendo a dois aglomerados em

cada município estudado. Não se obteve um total de 22 aglomerados para os 11 municípios porque, num dos municípios, as faixas associadas a aglomerados foram incluídas nas faixas associadas a edificações isoladas, não sendo possível distinguir as duas categorias (Figura A3). Estes aglomerados têm uma dimensão média de 4,3 ha ($\pm 5,1$) e as faixas ao seu redor têm uma área média de 19,6 ha ($\pm 12,4$), onde florestas e matos cobrem em média 55,6% ($\pm 18,1$) da superfície. Estimou-se uma média de 224 prédios rústicos (± 183) nas faixas ao redor destes aglomerados, variando entre 64 e 719 prédios rústicos. Estimou-se um custo médio de gestão de 1.574€ (± 1.240) por aglomerado, com uma amplitude de valores entre 396 € e 4.769 €. Os dados e resultados sobre este conjunto de aglomerados populacionais são apresentados em Anexo (Tabela A8), bem como mapas mostrando exemplos das faixas de gestão ao redor de alguns destes aglomerados (Figura A4).

A estimativa de custos hipotéticos de gestão em faixas lineares (€ km⁻¹) mostra uma variação considerável mediante a largura das faixas, desde um mínimo de 42,60 € km⁻¹ em faixas com largura de sete metros, como as faixas associadas a linhas de média tensão, até um máximo de 17.526,24 € km⁻¹ em faixas com largura de 120 metros, como a rede primária. Na rede primária, o uso de fogo controlado apresenta-se como uma opção mais económica em áreas de matos ou áreas florestais em condições de maior dificuldade (Tabela 3).

Tabela 3. Estimativa de custos hipotéticos de gestão mínimos e máximos mediante a largura de faixas lineares e ocupação do solo. Custos tabelados em CAO (2024).

Largura da faixa linear (m)	Floresta (mínimo)	Floresta (máximo)	Mato (mínimo)	Mato (máximo)
7	42,60	511,18	340,7	1.022,36
10	60,86	730,26	486,84	1.460,52
120	730,32	8.763,12	5.842,08	17.526,24
120 [fogo controlado]	1.460,16	7.300,80	1.460,16	5.840,64

4. Discussão

Este estudo explora pela primeira vez algumas das características e dos principais constrangimentos que obstaculizam a concretização das FGC, dando a conhecer a sua distribuição e estrutura, o contexto fundiário, o progresso do cadastro e as estimativas dos custos de gestão.

Uma das conclusões mais evidentes é a grande extensão de FGC na generalidade dos municípios estudados, cobrindo porções consideráveis destes territórios, até um máximo de quase 40% da superfície de um dos municípios (Figura A2). Para contextualizar estes valores, constata-se que a cobertura média de FGC nestes municípios (4.845 ha $\pm$ 3.058) é superior à superfície total de 54 municípios em Portugal Continental, incluindo municípios como Porto (4.142 ha) ou Oeiras (4.588 ha).

As FGC caracterizam-se, ainda, por uma distribuição espacial complexa e fragmentada, refletindo a pulverização de infraestruturas e de interfaces urbano-florestais no meio rural nestas regiões do Norte e Centro do país, que, muitas vezes, obrigam à dispersão dos meios de supressão de incêndios para a sua defesa (Beighley, 2008).

Os proprietários privados destacam-se como responsáveis pela gestão de cerca de metade da área afeta a FGC, resultado da grande representatividade das faixas ao redor de edificações e aglomerados populacionais e do predomínio da propriedade privada (Beires *et al.*, 2013).

Nas FGC predominam complexos combustíveis normalmente associados a uma elevada combustibilidade, em particular a povoamentos florestais e matos que cobrem quase 70% destas áreas. Tal configuração representa um risco acrescido para muitas comunidades rurais pelo potencial comportamento do fogo associado, embora o dano nas edificações dependa muito das suas características estruturais e ocorra frequentemente por projeções de fagulhas (Cohen, 2000).

O programa “Condomínio de Aldeia” foi especificamente criado para tentar reduzir a vulnerabilidade destas comunidades em contextos de elevado risco, através da promoção da gestão de combustíveis, tendo já várias centenas de candidaturas aprovadas para uma meta de 800 aldeias (Fundo Ambiental, 2025; Observatório Técnico Independente *et al.*, 2020). É conhecida a realidade do minifúndio nestas regiões, por norma caracterizado pelo predomínio de prédios rústicos inferiores a um hectare. No entanto, os dados do BUPi mostram uma realidade mais complexa, com um minifúndio extremo, onde quase metade dos prédios rústicos tem menos de 1.000 m², e um em cada vinte prédios tem menos de 100 m².

Este estudo mostra ainda que uma parte considerável dos prédios rústicos está enquadrada, total ou parcialmente, em FGC, estimando-se uma média de 26.000 prédios por município. Muitos destes prédios estão total ou parcialmente enquadrados em FGC, o que representa constrangimentos de ordem vária para a sua exploração económica. Desta forma, é provável que muitos dos terrenos sejam percecionados pelos proprietários mais pela ótica da despesa, do que pela ótica do rendimento.

Verificou-se uma associação entre a dimensão dos prédios e a categoria de FGC, sugerindo que prédios mais pequenos estão mais próximos das interfaces urbano-florestais, em contraste com prédios maiores em zonas de rede primária e de mosaicos estratégicos. De facto, a menor dimensão média dos prédios (0,25 ha) encontrou-se nas faixas ao redor de aglomerados populacionais. Também nas faixas ao longo da rede viária florestal se estimaram c. 18 prédios por quilómetro (numa berma apenas). Estes dados revelam a complexidade fundiária existente nestes territórios de interface.

O estudo mostrou que, no final de 2024, o cadastro simplificado da propriedade rústica (BUPi) cobria cerca de um terço das FGC, mas tem revelado uma tendência de abrandamento, em particular nos municípios-piloto que iniciaram a medida mais cedo. Esta tendência seria expectável à medida que os prédios com donos e limites conhecidos vão sendo inscritos no BUPi, pelo que os restantes municípios deverão contar com uma evolução semelhante. Não se verificou uma “preferência” para o desenvolvimento do BUPi sobre as FGC ou sobre determinadas categorias de FGC, estando o mesmo alinhado com o progresso a nível nacional (BUPi.gov.pt, 2025), o que é sintomático de um desenvolvimento essencialmente orgânico.

É consensual a importância do cadastro predial na construção e execução de políticas de prevenção de incêndios e em particular na gestão das FGC, mas deve ser reconhecido que a sua conclusão ainda vai tardar, considerando as diligências necessárias para validação do cadastro, a resolução de conflitos de sobreposições e ações judiciais pendentes ou emergentes, além dos casos de herança indivisa, que afetam cerca de um terço dos prédios rústicos, maioritariamente nas regiões Centro e Norte (GTPR, 2022).

Este estudo demonstra também o pesado esforço logístico e financeiro, em número de jornas e custos de gestão, para concretizar a gestão de combustíveis nas FGC. O custo médio estimado de cerca de um milhão de euros por município (e c. de 9.000 jornas) estará seguramente subestimado devido aos critérios conservadores em vários aspetos. Um destes aspetos é a aplicação proporcional do custo tabelado, que implica, por exemplo, que a gestão de um prédio com matos e uma dimensão de 100 m² (5% dos prédios sobre FGC tem área inferior a 100 m²) tenha um custo máximo de gestão de 14,6€, que não corresponde ao valor de mercado. Por outro lado, não foram considerados os custos máximos de gestão tabelados, nem outros tipos de operações de gestão, como desbastes, desramações ou controlo de plantas lenhosas invasoras.

No momento de desenvolvimento deste estudo (abril de 2026), nenhum dos municípios incluídos na investigação tinha já aprovado o respetivo Programa Municipal de Execução do SGIFR, no qual são apresentadas estimativas dos custos de gestão. Nestes instrumentos de planeamento não é clara a metodologia usada, sendo apresentados “valores de referência” (por exemplo, 1.500€ ha⁻¹), aplicados de forma generalizada mediante a categoria de FGC e a entidade responsável pela gestão. Os custos estimados neste estudo foram comparados com os orçamentos para gestão de combustíveis apresentados nos planos municipais que vigoravam antes do SGIFR (ICNF, 2025). Verificaram-se diferenças consideráveis entre municípios. Por exemplo, em Melgaço, o custo estimado de c. 0,8 M€ é quase o dobro do orçamento médio anual (c. 0,36 M€). Em Pampilhosa da Serra, o custo estimado de c. 1,6 M€ é quase metade do orçamento médio anual (c. 3,0 M€). Em Vila de Rei, o custo estimado de c. 0,44 M€ é semelhante ao orçamento médio anual (c. 0,46 M€).

Há que considerar também que os custos de gestão estimados neste estudo consideram apenas uma única intervenção em toda a extensão das FGC, independentemente do calendário ou frequência, mas, na realidade, o modelo de gestão baseado na redução ou eliminação de combustíveis é um processo recorrente. Ou seja, os custos de gestão repetem-se ao longo do tempo. A gestão das FGC tem programada uma frequência variável, definida nos programas sub-regionais e municipais do SGIFR, dependendo de fatores como a ocupação do solo, a categoria de FGC e a entidade responsável. Normalmente, a frequência de gestão varia entre intervenções bienais e trienais. Assim, estes custos de gestão podem ser diluídos por alguns anos. No entanto, esta periodicidade pode ser inadequada e muito variável a cada ano. De facto, são frequentes os relatos de duas ou mais intervenções por ano, como aconteceu no ano de 2024, quando o prazo de “limpeza de terrenos” foi prorrogado devido à ocorrência de precipitação, que dificultou os trabalhos e potenciou o crescimento da vegetação, incluindo em áreas já geridas. Para além do clima, vários outros fatores

podem determinar o crescimento da vegetação. Um estudo analisou as dinâmicas da vegetação (combustíveis) após corte mecânico, por vezes complementado com corte motomaneiro, em faixas associadas a linhas elétricas, tendo-se verificado que o desenvolvimento da vegetação é muito variável após a gestão, dependendo de fatores como a estratégia regenerativa das espécies presentes (regeneração vegetativa ou seminal) ou a litologia, indicando que, passados 5-7 anos após a intervenção, não se verificavam diferenças nas classes de perigo de incêndio entre as faixas e a vegetação envolvente (UTAD, 2023). Assim, a frequência de gestão de combustíveis pode ser altamente variável ao longo do espaço e do tempo, dificultando as estimativas dos custos de gestão.

Para além dos custos, também os recursos técnicos envolvidos na execução das FGC podem ser insuficientes nalguns municípios, mesmo com a diluição das responsabilidades por diferentes entidades, especialmente quando os trabalhos se concentram num período de poucos meses antes do verão. São frequentes as queixas de autarquias que, para além das responsabilidades programadas na gestão de combustíveis, são ainda obrigadas a substituir-se aos proprietários privados negligentes nessa matéria, devendo depois desenvolver as diligências necessárias para o devido ressarcimento. Este protocolo assume que se conhecem os proprietários dos terrenos, o que nem sempre sucede.

5. Conclusões

As FGC são uma medida importante nas estratégias de prevenção e combate de incêndios, no entanto os constrangimentos estruturais explorados neste estudo levantam questões sobre a exequibilidade e sustentabilidade desta medida. É reconhecida a necessidade de garantir uma maior otimização e racionalização da gestão de combustíveis (Observatório Técnico Independente *et al.*, 2019). As atualizações recentes das normas técnicas de gestão trouxeram alguma flexibilidade e racionalização da gestão, que poderá traduzir-se numa redução do total de área a gerir. Várias medidas têm sido aplicadas para tentar promover mosaicos paisagísticos mais resistentes e resilientes. O uso de fogo controlado tem sido dinamizado em várias regiões, permitindo otimizar recursos para gestão de vastas áreas. Tem-se observado também uma maior abertura para a mudança de paradigma do modelo de gestão de combustíveis, com a possibilidade de utilização de povoamentos florestais que atuam como “faixas vivas”. Incluem-se aqui povoamentos de espécies de agulha/folha curta ou folhosas nativas que promovem condições de elevado ensombramento e humidade dos combustíveis mortos, condicionando assim o comportamento do fogo. Por outro lado, promovem também a conservação da biodiversidade e dos ecossistemas nativos. É, assim, fundamental encontrar soluções otimizadas e adequadas aos contextos das FGC, que garantam a eficiência e sustentabilidade dos investimentos nelas realizados.

Bibliografia

- AFN. (2012). *Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI) - Guia Técnico* (rel. técn.). Autoridade Florestal Nacional - Direcção de Unidade de Defesa da Floresta. Lisboa, Portugal.
- Beighley, M. (2008). Reflections on the USA/Portugal wildland fire technical exchange project. Em J. S. Silva, E. Deus & L. Saldanha (Ed.), *Incêndios florestais - 5 anos após 2003* (pp. 131–138). Liga para a Protecção da Natureza/Autoridade Florestal Nacional.
- Beires, R. S., Amaral, J. G., & Ribeiro, P. (2013). *O cadastro e a propriedade rústica em Portugal*. Fundação Francisco Manuel dos Santos.
- BUPI.gov.pt. (2025). *Indicadores do BUPI* [Acedido em: janeiro de 2026]. <https://bupi.gov.pt/indicadores/>
- CAOF. (2024). *Beneficiação de povoamentos florestais: matriz de beneficiação* (rel. técn.). Comissão de Acompanhamento para as Operações Florestais (CAOF).
- Cohen, J. D. (2000). Preventing disaster: home ignitability in the wildland-urban interface. *Journal of Forestry*, 98(3), 15–21.
- DGRF. (2006). *Estratégia nacional para as florestas* (rel. técn.). Direcção-Geral dos Recursos Florestais. Lisboa, Portugal.
- DGT. (2018). *Carta de Uso e Ocupação do Solo - 2018 (COS2018v2)* [Acedido em: novembro de 2024]. <https://snig.dgterritorio.gov.pt/rndg/srv/por/catalog.search#/metadata/b498e89c-1093-4793-ad22-63516062891b>
- DGT. (2024). *Sistema Nacional de Informação Geográfica: Carta Administrativa Oficial de Portugal - CAOP2024.1 (Continente)* [Acedido em: outubro de 2025]. <https://snig.dgterritorio.gov.pt/rndg/srv/por/catalog.search#/home>
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., & Alsdorf, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, 45(2). <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>
- Fundo Ambiental. (2025). *Relatório Final do Concurso do Aviso n.º 08/C08-I01/2024 (v3.0)– Condomínio de Aldeias - Programa de apoio às aldeias localizadas em territórios de floresta*; (rel. técn.). Fundo Ambiental.
- GTPR. (2022). *Relatório da 1.ª fase - Diagnóstico* (rel. técn.). Grupo de Trabalho para a Propriedade Rústica.
- ICNF. (2021). *Carta de perigosidade de incêndio rural* [Acedido em: maio de 2024]. <https://sig.icnf.pt/portal/home/item.html?id=65e7a435415e467b82f84b0640205409>
- ICNF. (2025). *Planos PMDFCI - Público* [Acedido em: abril 2026]. https://fogos.icnf.pt/infoPMDFCI/PMDFCI_PUBLICOlist.asp
- Manly, B., McDonald, L. L., Thomas, D. L., McDonald, T. L., & Erickson, W. P. (2002). *Resource selection by animals: statistical design and analysis for field studies* (2.ª Ed.). Kluwer Academic Publishers.
- Observatório Técnico Independente, Castro Rego, F., Fernandes, P., Sande Silva, J., Azevedo, J., Moura, J. M., E., O., Cortes, R., Viegas, D. X., Caldeira, D., & Duarte, S. F. (2019). *Racionalizar a gestão de combustíveis: uma síntese do conhecimento atual* (rel. técn.). Assembleia da República. Lisboa, Portugal.
- Observatório Técnico Independente, Rego, F. C., Fernandes, P., Silva, J. S., Azevedo, J., Moura, J. M., Oliveira, E., Cortes, R., Viegas, D. X., Caldeira, D., & Santos, F. D. (2020). *Segurança das Comunidades em Incêndios Florestais – Uma Análise*

dos Programas “Aldeia Segura” e “Pessoas Seguras (rel. técn.). Assembleia da República. Lisboa, Portugal.

R Core Team. (2025). *R: a language and environment for statistical computing* [Acedido em: agosto de 2025]. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>

Silva, J. S., Deus, E., & Saldanha, L. (2008). *Incêndios florestais - 5 anos após 2003*. Liga para a Protecção da Natureza/Autoridade Florestal Nacional.

UTAD. (2023). *Dinâmica do combustível e do comportamento potencial do fogo nas faixas de proteção à infraestrutura de distribuição de energia elétrica* (rel. técn.). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real, Portugal.

Viegas, D. X., Ribeiro, L. M., & Almeida, M. (2020). Faixas de gestão de combustíveis. Em *Florestas e Legislação: Planos Municipais da Defesa da Floresta Contra Incêndios* (pp. 51–80). https://doi.org/10.47907/clq2020_1a4

Anexos

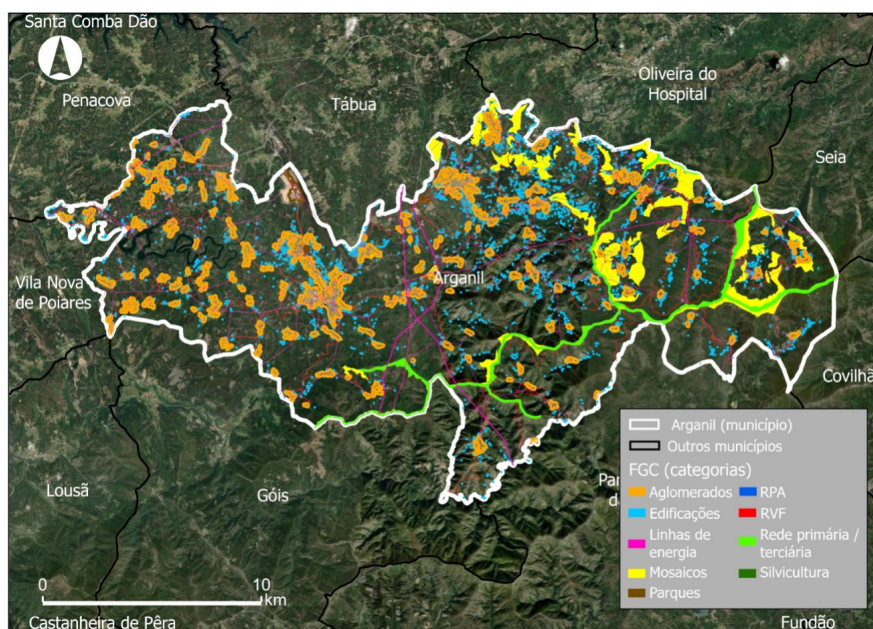


Figura A1. Exemplo de Faixas de Gestão de Combustível por categorias num dos municípios estudados (Arganil). Fonte: PMDFCI de Arganil.

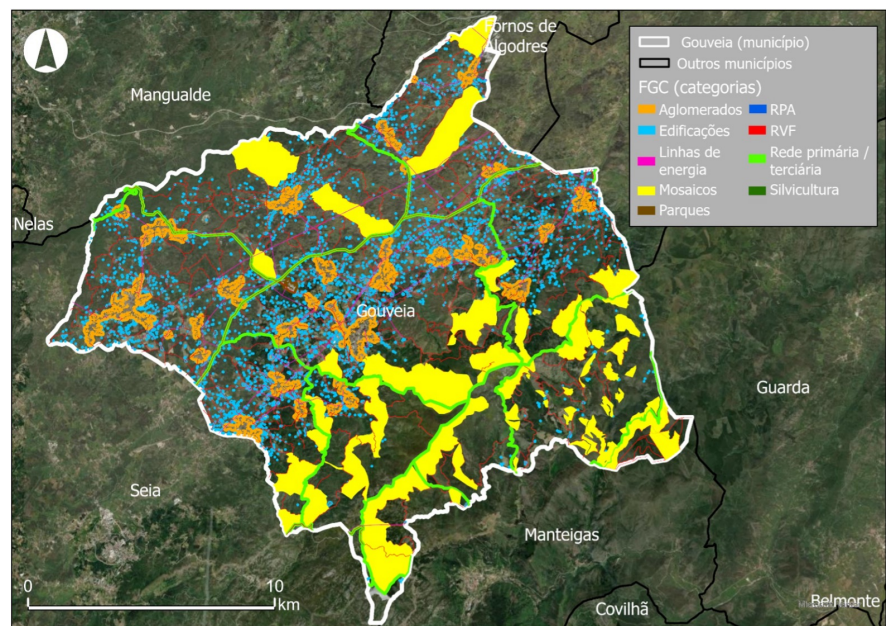


Figura A2. Exemplo de Faixas de Gestão de Combustível por categorias num dos municípios estudados (Gouveia). Fonte: PMDFCI de Gouveia.

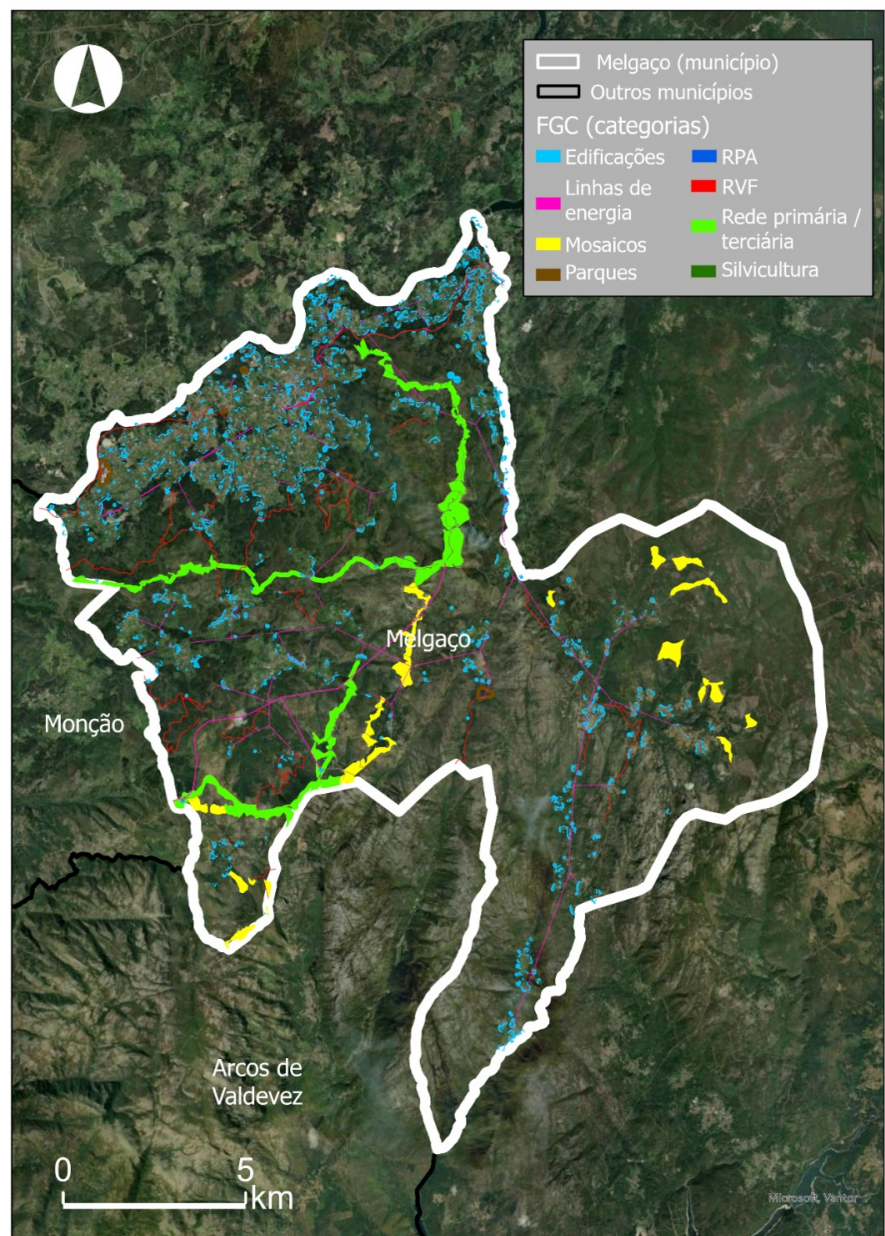


Figura A3. Exemplo de Faixas de Gestão de Combustível por categorias num dos municípios estudados (Melgaço). Fonte: PMDFCI de Melgaço.

Tabela A1. Caracterização Geral dos Municípios Estudados

Concelhos (Fase do BUPi)*	Área (ha)	Área de florestas (ha)	Área de matos (ha)	Cobertura do BUPi (%)	FGC (ha; %)	Dimensão dos prédios BUPi (média ± dp)	Custo estimado de gestão das FGC (€)
Arganil (E)	33.284	22.800	6.181	22,1	8.263 (24,8%)	0,76 (±11,13)	2.123.979
Arouca (E)	32.911	21.148	6.493	29,4	6.356 (19,3%)	0,68 (±3,06)	985.827
Figueiró dos Vinhos (P)	17.344	13.807	1.420	34,2	4.196 (24,2%)	0,41 (±5,21)	632.386
Góis (P)	26.330	22.147	2.558	47,4	2.862 (10,9%)	0,69 (±15,8)	701.225
Gouveia (E)	30.061	8.552	12.853	40,7	11.751 (39,1%)	1,75 (±37,68)	3.250.908
Melgaço (E)	23.825	7.051	10.893	10,0	1.915 (8,0%)	0,19 (±1,61)	782.542
Oleiros (E)	47.109	38.633	4.510	24,6	5.825 (12,4%)	0,86 (±2,31)	965.938
Pampilhosa da Serra (P)	39.646	21.832	14.688	39,5	4.889 (12,3%)	0,84 (±10,29)	1.643.639
Pedrógão Grande (P)	12.875	10.459	366	40,9	2.397 (18,6%)	0,37 (±1,9)	137.967
Vila de Rei (E)	19.155	14.095	3.014	37,5	2.746 (14,3%)	0,53 (±1,13)	444.992
Vila Nova de Paiva (E)	17.553	6.294	7.760	29,6	2.098 (12,0%)	0,29 (±3,4)	340.220

* Fase do BUPi: E = Expansão; P = Piloto.

Tabela A2. Distribuição (ha; %) das FGC por Categorias nos Municípios Estudados

Municípios FGC	Agglomerados Edificações		Linhas energia	Mosaicos	Parques	Rede primária	Rede terciária	RPA	RVF	Silvicultura	Total
Arganil	3169 (38,3%)	1.837 (22,2%)	521 (6,3%)	1.530 (18,5%)	71 (0,9%)	734 (8,9%)	0 (0%)	8 (0,1%)	395 (4,8%)	0 (0%)	8.264 (100%)
Arouca	3290,5 (51,8%)	1.055 (16,6%)	438 (6,9%)	90 (1,4%)	104 (1,6%)	325 (5,1%)	2 (0%)	0,5 (0%)	1032 (16,2%)	19 (0,3%)	6.356 (100%)
Figueiró dos Vinhos	2629,5 (62,7%)	0,1 (0%)	173 (4,1%)	494 (11,8%)	0 (0%)	481 (11,5%)	0 (0%)	0 (0%)	418 (10%)	0 (0%)	4.196 (100%)
Góis	1105,3 (38,6%)	0 (0%)	369 (12,9%)	262 (9,1%)	40 (1,4%)	576 (20,1%)	0 (0%)	10 (0,3%)	501 (17,5%)	0 (0%)	2.863 (100%)
Gouveia	1583,1 (13,5%)	2.702 (23%)	213 (1,8%)	4.909 (41,8%)	24 (0,2%)	1.235 (10,5%)	0 (0%)	0 (0%)	1.086 (9,2%)	0 (0%)	11.751 (100%)
Melgaço	0 (0%)	699 (36,5%)	148 (7,7%)	311 (16,2%)	34 (1,8%)	591 (30,8%)	0 (0%)	0 (0%)	132 (6,9%)	0 (0%)	1.915 (100%)
Oleiros	2.090 (35,9%)	987 (16,9%)	244 (4,2%)	0 (0%)	29 (0,5%)	1751 (30,1%)	0 (0%)	15 (0,3%)	709 (12,2%)	0 (0%)	5.825 (100%)
Pampilhosa da Serra	1.498 (30,6%)	152 (3,1%)	413 (8,4%)	0 (0%)	34 (0,7%)	1.956 (40%)	0 (0%)	0 (0%)	675 (13,8%)	160 (3,3%)	4.889 (100%)
Pedrógão Grande	1.505 (62,8%)	269 (11,2%)	183 (7,6%)	0 (0%)	48 (2%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (0,1%)	391 (16,3%)	0 (0%)	2.397 (100%)
Vila de Rei	1.125 (41%)	0 (0%)	115 (4,2%)	0 (0%)	0 (0%)	563 (20,5%)	0 (0%)	0 (0%)	943 (34,4%)	0 (0%)	2.746 (100%)
Vila Nova de Paiva	949 (45,2%)	0 (0%)	127 (6%)	346 (16,5%)	25 (1,2%)	429 (20,4%)	0 (0%)	0 (0%)	223 (10,6%)	0 (0%)	2.098 (100%)
Total	18.945 (35,5%)	7.701 (14,4%)	2.944 (5,5%)	7.941 (14,9%)	409 (0,8%)	8638 (16,2%)	2 (0%)	35 (0,1%)	6.505 (12,2%)	179 (0,3%)	53.299 (100%)
Média (±DP) (ha)	1.722 (±996)	700 (±892)	268 (±142)	722 (±1457)	37 (±30)	785 (±607)	0 (1)	3 (5)	591 (±324)	16 (±48)	4.845 (±3.058)
Média (±DP) (%)	38 (±18,9)	12 (±12,4)	6,4 (±2,9)	11 (±12,8)	0,9 (±0,7)	18 (±12,2)	0 (0)	0,1 (0,1)	14 (±7,9)	0,3 (±1)	—

Tabela A3. Parâmetros dos Modelos de Regressão para a Evolução Anual da Cobertura do Bupi Sobre as FGC (%) por Grupos de Municípios (Fase Piloto, Fase de Expansão E Todos). *** = $p < 0,00$

Grupo (R2 ajust.)		Estimativa	Erro padrão	t	p
Todos (0,77)	Intercepção	0,559	1,596	0,351	0,727
	Log(Ano)	17,959	1,266	14,188	***
Piloto (0,82)	Intercepção	-0,099	2,283	-0,043	0,966
	Log(Ano)	18,154	1,543	11,769	***
Expansão (0,66)	Intercepção	-6,639	3,258	-2,038	0,052
	Ano	8,770	1,190	7,373	***

Tabela A4. Resultados do Teste de Mann-Whitney (com Ajuste de Bonferroni; P Ajust.) para Comparação da Cobertura Anual do Bupi sobre FGC (%) entre Municípios das Fases Piloto e de Expansão. Estimativa = Grupos Expansão – Grupo Piloto

Ano	Estimativa (diferença mediana %)	p	p ajust.
1	0,912	0,156	0,624
2	-3,98	0,508	1,000
3	0,872	1,000	1,000
4	5,09	0,508	1,000

Tabela A5. Resultados da Análise de Variância (ANOVA) para a Comparação da Cobertura Média Relativa (%) e Absoluta (Ha) do Bupi entre Diferentes Categorias de FGC

Variável	Fonte de variação	Graus liberdade	Soma quadrados	Média quadrados	F	p
Cobertura do BUPi (%)	Categorias	5	790	158,0	0,559	0,731
	Resíduos	50	14.131	282,6	—	—

Tabela A6. Dados e Resultados dos Índices de Selectividade para Avaliar a Preferência de Localização do BUPi sobre as FGC nos Municípios Estudados

Concelhos	Área (ha)	Área FGC (ha)	Área BUPi (ha)	Área BUPi em FGC (ha)	Índice Selectividade
Arganil	33.284	8.263	7.456	1.829	1,0
Arouca	32.911	6.356	9.896	1.711	0,9
Figueiró dos Vinhos	17.344	4.196	5.998	1.467	1,0
Góis	26.330	2.862	12.032	1.300	1,0
Gouveia	30.061	11.751	12.201	4.659	1,0
Melgaço	23.825	1.915	2.457	199	1,0
Oleiros	47.109	5.825	11.689	1.405	1,0
Pampilhosa da Serra	39.646	4.889	15.627	2.112	1,1
Pedrógão Grande	12.875	2.397	5.302	1.006	1,0
Vila de Rei	19.155	2.746	7.377	1.111	1,1
Vila Nova de Paiva	17.553	2.098	5.222	633	1,0
Total	300.093	53.299	95.258	17.432	1,0

Tabela A7. Comparação da Dimensão Média (ha) dos Prédios Rústicos sobre as Diferentes Categorias de FGC, com Resultados do Teste Post-Hoc de Dunn (valor z; p ajustado)

Categorias FGC (área média $\pm$ dp, ha)	Edific.	L. alta tensão	L. média tensão	L. muito alta tensão	Mosaicos	Parques	Rede prim.	RVF (0,83 $\pm$ 2,92)
Agglomerados (0,25 $\pm$ 1,15)	-73,7; ***	-19,9; ***	-63,1; ***	-30,7; ***	-32,7; ***	-15,4; ***	-68,0; ***	-96,0; ***
Edificações (0,83 $\pm$ 2,84)	—	-2,3; *	-0,32; 0,76	-9,8; ***	-4,3; ***	-1,5; 0,16	-22,6; ***	-2,5; *
Linhas alta tensão (1,42 $\pm$ 5,09)	—	—	2,2; *	-4,7; ***	-0,3; 0,77	0,27; 0,78	-7,13; ***	1,69; 0,11
Linhas média tensão (0,88 $\pm$ 3,24)	—	—	—	-9,56; ***	-3,99; ***	-1,40; 0,18	-21,18; ***	-1,83; 0,08
Linhas muito alta tensão (1,33 $\pm$ 5,04)	—	—	—	—	5,54; ***	4,35; ***	-1,54; 0,14	9,20; ***
Mosaicos (1,49 $\pm$ 5,01)	—	—	—	—	—	0,59; 0,59	-9,95; ***	3,34; **
Parques (0,67 $\pm$ 1,78)	—	—	—	—	—	—	-6,08; ***	0,99; 0,35
Rede primária (1,72 $\pm$ 5,39)	—	—	—	—	—	—	—	22,33; ***

* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$

Tabela A8. Dados e Estimativas dos Custos de Gestão para um Conjunto Aleatório de 20 Aglomerados Populacionais nos Municípios Estudados

Aglomerado (município)	Área (ha)	Área FGC (ha)	Área florestal (ha; %)	Custo gestão (€)
Abrunheira (Arganil)	4,38	22,8	6,3 (27,7%)	396,12
Alrote (Gouveia)	3,37	8,9	8,9 (100%)	1.402,43
Amioso Fundeiro (Góis)	4,31	14,7	9,2 (62,5%)	851,22
Borralhais (Vila Nova de Paiva)	1,34	10,0	6,1 (60,4%)	856,82
Carreira (Pedrógão Grande)	2,37	22,3	6,8 (30,3%)	411,87
Carvalhal Redondo (Arouca)	6,73	39,2	22,6 (57,7%)	1.989,53
Covanca (Pampilhosa da Serra)	2,53	14,1	10,5 (74,7%)	4.768,79
Folgosinho (Gouveia)	24,22	61,1	27,4 (44,7%)	4.232,86
Fontão Fundeiro (Figueiró dos Vinhos)	2,67	12,5	5,8 (46,1%)	1.173,14
Isna (Oleiros)	4,57	22,4	10,8 (48,4%)	1.017,84
Lage Gorda (Vila Nova de Paiva)	2,87	15,3	6,5 (42,4%)	3.138,39
Macieira (Vila de Rei)	1,47	14,1	11 (77,7%)	2.205,51
Nodeirinho (Pedrógão Grande)	3,06	25,7	9,5 (37,1%)	588,97
Ponte do Fajão (Pampilhosa da Serra)	2,11	12,9	6,5 (50,5%)	755,91
Portela (Góis)	1,14	6,4	4,3 (67,1%)	489,04
Relva (Vila de Rei)	4,46	17,9	13,2 (73,9%)	1.029,43
Roqueirinho (Oleiros)	1,3	8,7	5,1 (58,5%)	1.113,22
Sorgaçosa (Arganil)	2,51	24,0	12,3 (51,4%)	1.400,63
Vale do Rio (Figueiró dos Vinhos)	2,25	15,4	10,5 (67,9%)	2.585,05
Ver (Arouca)	9	24,2	8,2 (34%)	1.062,75
Média (±dp)	4,3 (±5,1)	19,6 (±12,4)	10,1 ha (±5,7) 55,6% (±18,1)	1.573,48 (±1.239,87)

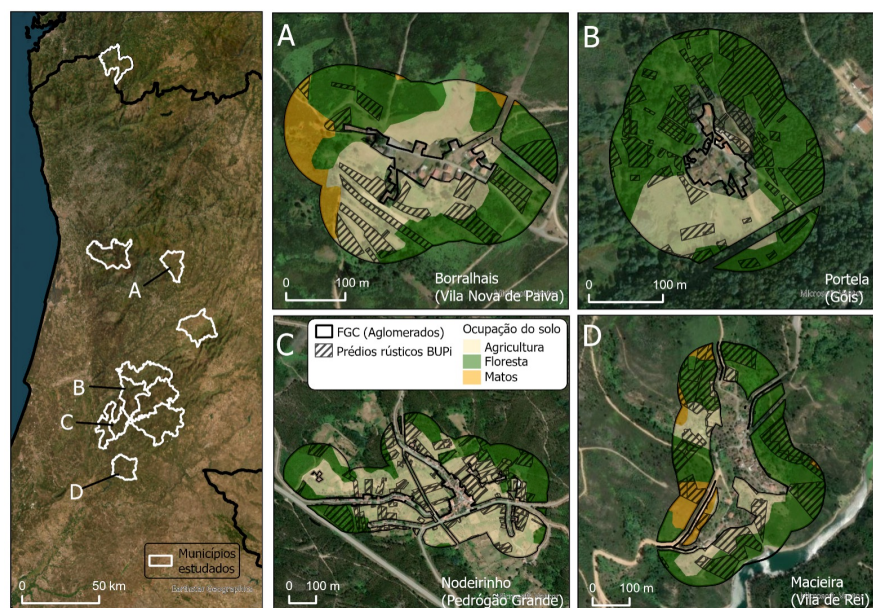


Figura A4. Ocupação do solo e prédios rústicos do BUPi nas Faixas de Gestão de Combustíveis em alguns dos aglomerados populacionais escolhidos aleatoriamente para estimativa de custos de gestão. Fontes: FGC obtidas nos PMDFCI dos municípios; Prédios rústicos disponibilizados pelo BUPi.

Soil Degradation and Desertification Risk in the Rif Mountains (Morocco): A MEDALUS-Based Spatial Assessment

Dégradation des sols et risque de désertification dans les montagnes du Rif (Maroc) : une modélisation spatiale basée sur le modèle MEDALUS

Hanifa El Motaki ^{*1}, Achraf-Samy Houari ^{**2}, Najat Akhal ^{***3} and Mohammed El-fengour ^{****4}

¹University Ibn Tofail, Kenitra, Morocco. Faculty of Human and Social Sciences, Department of Geography

²University Mohammed V in Rabat, Morocco, Faculty of Letters and Human Sciences. Department of Geography

³University Ibn Tofail, Kenitra, Morocco. Faculty of Human and Social Sciences, Department of Geography

⁴University Mohammed V in Rabat, Morocco. University Institute of African, Euro-Mediterranean and Ibero-American Studies

Abstract

This study assesses desertification risk in the Rif Mountains of northern Morocco using eight soil quality indicators within the framework of the Mediterranean Desertification and Land Use Model. The study area covers approximately 27,989 km². Landsat satellite imagery and spatial analysis using QGIS 3.12 were employed to process environmental data and generate soil quality indices and thematic maps. The results classify the study area into three categories based on soil resistance and sensitivity to degradation. Areas with high soil quality represent about 36% of the region and are mainly located in forested zones, showing low susceptibility to desertification. Areas with moderate soil quality account for approximately 35%, indicating moderate resistance and higher vulnerability to degradation. The remaining 29% corresponds to low soil quality areas, largely concentrated in the southern part of the region, which are highly sensitive to degradation processes that may lead to desertification. These findings provide valuable insights for land management and desertification mitigation strategies in northern Morocco.

Keywords: MEDALUS. Soil Quality Index. Rif Mountains. Desertification. GIS. Morocco.

Résumé

L'étude évalue le risque de désertification dans les montagnes du Rif, au nord du Maroc, en utilisant huit indicateurs de qualité des sols dans le cadre du Mediterranean Desertification and Land Use Model. La zone d'étude couvre environ 27,989 km². Des images satellitaires Landsat et une analyse spatiale à l'aide du QGIS 3.12 ont été utilisées pour traiter les données environnementales et produire des indices de qualité des sols ainsi que des cartes

Cadernos de
Geografia

doi: https://doi.org/10.14195/0871-1623_53_3

Received on:
March 13, 2026
Accepted on:
May 18, 2026

*Email: hanifa.elmotaki@uit.ac.ma
**Email: achrafsamihouari@gmail.com
***Email: najat.akhal@uit.ac.ma
****Email: mohammed.elfengour@um5r.ac.ma

thématiques. Les résultats montrent que la zone d'étude est divisée en trois catégories selon la résistance des sols et leur sensibilité à la dégradation. Les zones à haute qualité des sols représentent environ 36% de la région et sont principalement situées dans les zones forestières, présentant une faible susceptibilité à la désertification. Les zones à qualité moyenne des sols représentent environ 35%, indiquant une résistance modérée et une vulnérabilité plus élevée à la dégradation. Les 29% restants correspondent à des zones à faible qualité des sols, largement concentrées dans la partie sud de la région, qui sont fortement sensibles aux processus de dégradation pouvant conduire à la désertification. Ces résultats apportent des éléments utiles pour la gestion des terres et les stratégies de lutte contre la désertification dans le nord du Maroc.

Mots-clés : MEDALUS. Indice de qualité des sols. Montagnes du Rif. Désertification. SIG. Maroc.

1. Introduction

Assessing soil degradation in environmentally sensitive areas prone to desertification in the Mediterranean area requires an accepted definition of desertification, given the evolution of the concept of 'desertification' in relation to 'land degradation' (Salvati et al., 2015). After being associated exclusively with arid and semi-arid regions, it became linked to land degradation in semi-humid areas and in the Mediterranean region (Sivakumar, 2007). Since then, the concept of desertification, according to the United Nations Convention to Combat desertification, has linked desertification to the peak of land degradation, which leads to a continued decline in biological productivity in arid, semi-arid and semi-humid areas. It is also linked to climate change as a driver of desertification (Bauer, 2016). These are human factors through population growth and population density for all systems. Therefore, desertification is linked to the sensitivity of ecosystems and the pressure that humans impose on land resources (Baartman et al., 2007). The development of desertification is often accompanied by aggravating soil erosion (Lal, 2001).

The Rif Mountains in northern Morocco are experiencing accelerating environmental degradation, particularly soil degradation, due to compounded natural vulnerability and increasing human pressure (Laaribya & Alaoui, 2025; Moore et al., 1998). This region is characterized by steep slopes, susceptible lithology, and a Mediterranean climatic condition, exposing it to higher risks of land degradation and natural hazards. However, the most pressing issue is large-scale soil degradation caused by unsustainable land use trends encouraged by illegal forest clearance and other practices such as the over exploitation of steep slopes through cultivation or overgrazing due to the limited agricultural areas resulting from the predominantly steep topography (El Motaki et al., 2019). These activities accelerate soil erosion, reduce biodiversity, and lead to instability of already vulnerable ecosystems (Hatfield et al., 2020).

This study aims (A) to identify land degradation patterns and analyze the principal factors affecting land sensitivity to degradation in the central Rif mountains and its southern margins of Morocco through the applying of spatial analysis techniques. It (B) develops a comprehensive methodology for mapping sensitivity to land

degradation, which is typically related to humid, semi-humid or dry subhumid areas, and desertification, which is typically related to semi-arid and arid land, is a broad concept that depends on place-specific socio-ecological conditions, interactions, and adaptation strategies (Kosmas et al., 2016). The Study (c) also provides an opportunity to identify areas most vulnerable to or threatened by degradation leading to desertification. To (D) predict future soil degradation trends under climate change and human pressures for guiding protection efforts in order to enhance development and planning strategies, ensure the sustainability of natural resources and also strengthen the socio-economic situation of the concerned population in the defined study area, as well providing scientific foundation as a global reference for the quantitative and qualitative assessment of land degradation sensitivity and its causes in the study area.

To determine and map the major processes of soil degradation leading to desertification in central Rif, especially the Pre-Rif, Morocco, this study based on applying the method MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Use) method for evaluating and classifying the soil degradation through different parameters used in a sub-humid and semi-arid environment. Factors are overlaid in a geospatial environment to give a spatial variation of soil degradation. Processes based on global datasets featuring texture, parent material types, drainage, slope, and Rock fragmentation.

Based on the Soil Quality Index (SQI) indicates that around 29% of the study area is highly susceptible to desertification, indicating severe environmental vulnerability. The remaining 71% ranges from medium to low sensitivity levels, which typically occur in less sloping or relatively vegetated zones. Spatial sensitivity distribution is strongly coincidence with zones under intense human pressure, particularly deforestation and informal agricultural development.

These findings underscore the urgent need for sustainable land management strategies and the redesign of territorial governance in forest areas. The study underlines how ecological vulnerability, when coupled with socio-economic constraints and illicit land uses, drives a hazardous and territorial conflict trajectory in this ecologically rich but fragile mountain territory.

2. Method and Materials

2.1. Study Area

The study area extends along the southern margins of the central Rif mountains. The geomorphological structure is characterized by the predominance of high mountainous areas in the north, exceeding 2,400 m at the summit of Taghdzine, while altitudes do not exceed 600 m in the south, where fragile clayey rocks predominate (Figure 1). The spatial distribution of average rainfall in the study area is characterized by a difference between the north and the south depending on factors influencing humidity, including altitude and exposure, with average rainfall exceeding 1,600 mm in the north and about 500 mm in the south of the study area. Temperatures also reach exceptional values, sometimes exceeding 40 °C during the summer months of July and August because of the Easterly winds. Conversely, temperatures decrease

to -1 °C, especially in the high areas in the far north of the study area. The central-southern Rif mountains area is exposed to two types of hot and humid air masses, including western winds associated with the Atlantic Ocean and eastern winds that are cold and dry during the winter, hot and dry during the summer, which come from the eastern continental regions and desert areas.

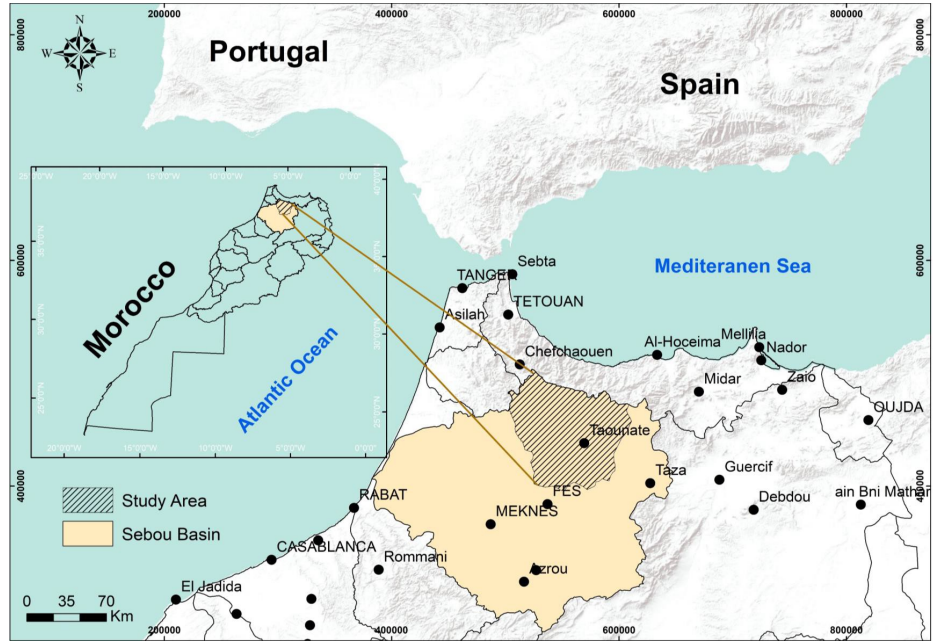


Figure 1. Placement of the study area.

2.2. Data used and processing

To generate the mapping of environmentally sensitive areas susceptible to soil degradation in study area, study is based on the MEDALUS model and the assessment of the most important factors affecting Soil degradation leads to desertification. Accordingly, the study area was defined as a mountainous area. Each factor was considered as an individual study unit, and the assessment of desertification was made in all of them. Each of the six Soil Quality Indices including (texture, parent material, rock fragment, depth, slope, and drainage), were classified and weighted based on the MEDALUS model and their contribution to soil sensitivity to degradation (Imam et al., 2025). The final SQI is computed using the geometric mean of these indicators (Figure 2).

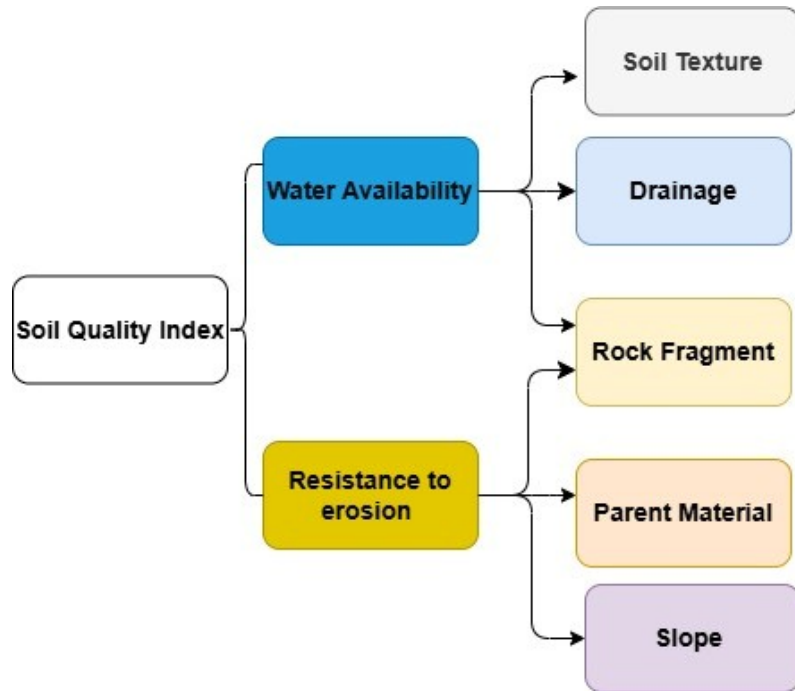


Figure 2. Flowchart illustrating the process of developed model.

Drainage and slope data were also extracted from ASTER digital elevation (DEM) with a spatial resolution of 30 m. The geological map was used to extract the predominant rock types in the study area, to classify rock characteristics, which were classified into three categories according to the degree of rock cohesion (resistant, moderately resistant, and weakly resistant). Using these characteristics seeks to identify and map environmentally sensitive areas (ESAs) based on distinct categories by gathering satellite data and GIS for desertification sensitivity assessment with an average rating between 1 and 2 within the model to weight layer procedure based on its influence and contribution to the desertification process. The individual indicators are listed in (Table 1). All indicator scores are combined into a final SQI value based on the following equation:

$$SQI = (\text{texture} \times \text{parent material} \times \text{rock fragment} \times \text{depth} \times \text{slope} \times \text{drainage})^{1/6}$$

The results of integrating soil quality as an adopted approach to link all interacting factors, through a set of synthetic maps that enabled the assessment of the current status of soil degradation in the study area and provided a prospective view of the extent of soil degradation leading to desertification in the semi-arid zone and its possible spread to the sub humid and humid zone, which is also threatened in the long term (Table 2).

Table 1. Classes and the corresponding weight assigned for the calculation of the SQI

Parameters	Description	Classes	Quality index
Parent material	Good resistant	Shale, Schist, Basic, Ultra-basic	1
	Moderate resistant	Conglomerate, Limestone, Marble, Granite, Rhyolite, Ignibrite, Siltastone, Sandstone	1.5
	Weakly resistant	Marl, Pyroclastic	2
Soil texture	Good	L, SCL, SL, LS, CL	1
	Moderate	SC, SiL, SiCL	1.2
	Poor	Si, C, SiC	1.6
	Very poor	S	2
Soil slope	Very gentle to flat	< 6%	1
	Gentle	6–18%	1.2
	Steep	18–35%	1.5
	Very steep	> 35%	2
Soil coarse fragment class	Very stony	> 60%	1
	Stony	20–60%	1.3
	Bare to lightly stony	< 20%	2
Drainage	Well drained	Low moisture content	1
	Imperfectly drained	High moisture content	1.2
	Poorly drained	The water level is permanently at a depth of more than 75 cm	2

Source: El Motaki (2024).

Table 2. Quantitative scores and qualitative classes of considered indicators (indices)

Class	Description	Range
1	High quality	< 1.13
2	Moderate quality	1.13–1.45
3	Low quality	> 1.46

Source: El Motaki (2024).

2.3. Assessing SQI

According to the MEDALUS approach, the results of the SQI, which determines the sensitivity of soil to degradation in the studied area, are based on the integration of the indicators according to the classes shown in Table 1, that are related to the soil characteristics, including Soil texture which is related to its erodibility and water retention capacity. Soils rich in silt have a high-water retention capacity, unlike sandy soils, which have a lower water retention capacity. Therefore, sandy soils are more prone to drought than clay soils because they retain less water, as they lose water very quickly during ploughing and exposure to the sun (Kosmas et al., 1998).

Soil depth was assessed through the morphological characteristics of vegetation cover, which reflects soil depth, as good vegetation cover can only grow on deep soil capable of retaining water and nutrients. Shallow soil cannot support vegetation cover. This is a result of soil structure being washed away due to erosion (Lee & Skogerboe, 1985). Soil resistance to degradation varies depending on the nature of the parent rock and the abundance of vegetation cover. Soils derived from fragile clayey rocks, which have low resistance, account for about 28% of the study area, which includes land cultivated with rain-fed cereals in the southern part of the study area. These areas are considered to be most vulnerable to degradation, as this soil cannot support any vegetation cover in dry years, despite its high productivity in normal and wet years (Kosmas et al., 1998).

Rock fragments rich soils, which are determined by > 6 mm over the soil surface or topsoil, play an important role in maintaining substantial quantities of stored water, particularly during dry years, and thus contribute to protecting land from desertification (Poesen & Lavee, 1994). The aspect of the slopes is one of the factors influencing the enhancement of morphodynamical formation (Li et al., 2019). It also determines the dynamics between the western slopes, which are exposed to humidity, and the southern and south-eastern slopes, which are more exposed to the sun and dryness (El Motaki, 2024).

The drainage index is an important factor in determining the amount of water that seeps into deep soil layers (Schaetzl et al., 2009), since well-drained soil loses water more quickly compared to poorly drained soil. In assessing the risk of degradation, salt accumulation was focused on as an indicator of the sensitivity of areas to degradation in relation to drainage quality (El Motaki, 2024). Three drainage categories were

therefore identified, based on their impact on salt accumulation (good, moderate, and poor drained). Soil salinity results from the accumulation of salts in its components, which has negative impacts on soil quality and plant growth by reducing its physical and chemical properties (Monteleone et al., 2004). At the local level, the extent of salt concentration depends on various factors controlled by water, soil type, and total salt and sodium content. In areas that receive between 300 and 600 mm of rainfall, there is an increased concentration of salts in the soil leading to conditions that are unsuitable for plants and crops (Ferrara et al., 2012).

3. Discussing Findings

3.1. Soil Texture Index

The south part of the study area that corresponds to the semi-arid zone is characterized by clay soil that is subject to swelling and expansion during rainy periods when it becomes saturated with water, thus increasing surface runoff when it rains (**Figure 4**). While clay soils can retain water during wet seasons, and hence, poor drainage creates favorable conditions to various types of water erosion as a result of the breakdown of their texture, which leads to the deterioration of their structure. During the dry season, this soil is exposed to drought due to poor water permeability, thus becoming threatened with drought, resulting in poor quality soil.

In the northern part of the study area, which corresponds to the semi-humid zone, loamy soils predominate. This type of soil creates a balance between sand and clay, giving it moderate resistance to erosion. In terms of quality, it is classified as high quality. However, it is potentially subject to degradation due to intensive cultivation on steep slopes and poor land management. This contributes to the severity of degradation, as morphodynamic are widespread, particularly those associated with landslides, collapses and slides.

3.2. Soil Depth Index

According to MEDALUS' approach, three types of soil can be distinguished within the study area: deep soil, which exceeds 75 cm in depth, ranging between 80 and 90 cm, especially within the forest areas in the northern part of the study area. Then there is medium-depth soil, which ranges between 30 and 75 cm in depth. These categories are located in the Oudka and Ourtzagh areas, particularly on slopes that are exposed to overexploitation. Whereas shallow soil, which is less than 30 cm deep, dominates the southern and southwestern parts of the study area, with some forest clearings in the Oudka and Tiziran mountains in the northern part.

3.3. Parent Rock Index

Areas with soil composed of dolomitic limestone and marl are also widespread, particularly in the Numidian peaks, such as the Oudka, Beni Aider and Khazana mountains. Despite their low productivity in wet years, they provide significant amounts of stored water for plants, thus ensuring biomass production in dry years. These rocks are also resistant to the factors of degradation that affect the area,

particularly water erosion. This category covers a small part of the study area, accounting for no more than 16%, and is located in the northern part of study area.

Areas with moderately resistant rock formations, which are the predominant type in the area, accounting for about 56%, are characterized by the predominance of flyschs, limestone formation represents important areas in the middle part of the study area. They are also characterized by medium-depth, medium-resistance soils, which are spread over medium-slope slopes.

Soil derived from fragile clayey rocks with low resistance constitute about 28% of the study area, which includes lands cultivated with rain-fed cereals in the southern part of the study area. These areas are more vulnerable to degradation, as this soil cannot support any vegetation cover in dry years, despite its high productivity in normal and wet years.

3.4. Rock Fragment Index

Stony soils are found in areas dominated by solid and medium- solid rocks, particularly in the northern part of the study area, and are associated with between 30% and 40% rock fragments. This is most clearly found in the Numidian area of the Oudka unit (Figure 3). In contrast, clay soils that are fragment-free, especially during cultivation, despite their high agricultural productivity (cereals in the Prerif zone) in normal and wet years, remain vulnerable to degradation in dry years in particular, due to their incapacity to support plants because of their poor drainage capacity (Ni et al., 2024). These areas are more prone to surface runoff, which increases the possibility of sediment production and loss more quickly (Figure 4). This corresponds to the southern part of the study area, where the average coverage is less than 10%, which is limited to the rows and remains very limited in area.



Figure 3. The role of rock fragments in protecting slopes from degradation in the Oudka unit (May 2024).



Figure 4. Areas with bare rock fragments in the southern part of Prerif area (June 2024).

3.5. Slope Aspect

The character of the slopes in the central Rif mountains and their southern margins reflects the predominance of south- and east-facing slopes, which represent more than 50% of the total area of the studied area, thus indicating that it is highly susceptible to water erosion.

The southern part of the study area is characterized by a very strong linear erosion on the slopes facing south and south-east, in contrast to the northern areas, with the central Rif domain, and above the western slopes, it is characterized by the predominance of various types of mass movements, especially during wet periods due to the availability of vegetation cover, which enhances permeability and thus contributes to the activation of near-surface runoff and the formation of near-surface and deep mass movements (Moore et al., 1998).

3.6. Drainage Index

The drainage of soil in the studied area varies between the north and south, where drainage was classified into three categories (good, medium, poor) based on the criteria adopted in the model. The poor drainage category is the most prevalent in the study area and corresponds to the southern part, especially in areas where tertiary protrusions are widespread (Jabal al-Malha in Tissa) (Gartet et al., 2006).

The accumulation of salt on the soil surface in southern part of study area contributes to the forming of a dense, impermeable crust, thus preventing water from seeping into the soil. This negatively affects the soil's ability to transport water. In addition, it disrupts the balance of ions, as sodium replaces essential cations such as calcium and magnesium from soil particles, leading to a deficiency of plant nutrients,

especially calcium, which contributes to the decline of vegetation in these areas and the surrounding environment (Gartet et al., 2006).

In the northern part of the study area, drainage conditions are associated with the prevalence of medium-permeability rocks and steep slopes that do not allow sufficient time for infiltration. Good drainage conditions in the southernmost part of the study area are also linked to rock conditions, as these margins are characterized by permeable solid rocks that allow for good water infiltration and are very limited in the study area (Bourg & Ajo-Franklin, 2017).

Climatic conditions associated with low rainfall (less than 500 mm annual average) and high temperatures exceeding 40 °C, especially in summer in the study area, lead to the accumulation of salts, particularly in clay soils which increases the difficulty of water infiltration as a result of occupying the spaces between soil particles, reducing pore space and increasing soil density (Wang et al., 2018). This pressure leads to poor water drainage, and thus increased surface runoff.

4. Validation and Results

Based on the application of the Environmentally Sensitive Areas (ESAs) approach, the susceptibility of soil to degradation was determined using the SQI, which integrates a range of variables related to soil characteristics (structure, depth, bedrock, rock fragments, slope and drainage), as one of the indicators used to classify these areas. Based on the equation used in this context, the SQI was determined based on its resistance to erosion in order to assess its sensitivity to degradation. It was observed that most areas in the northern part of the study area (Figure 5), accounting for 36% of the total area, are of high quality (Table 3). This soil is found in forested areas, which protect it and help it adapt and enhance its resistance to degradation, as it is highly fertile and has a high-water retention in soil depths exceeding 80 cm.

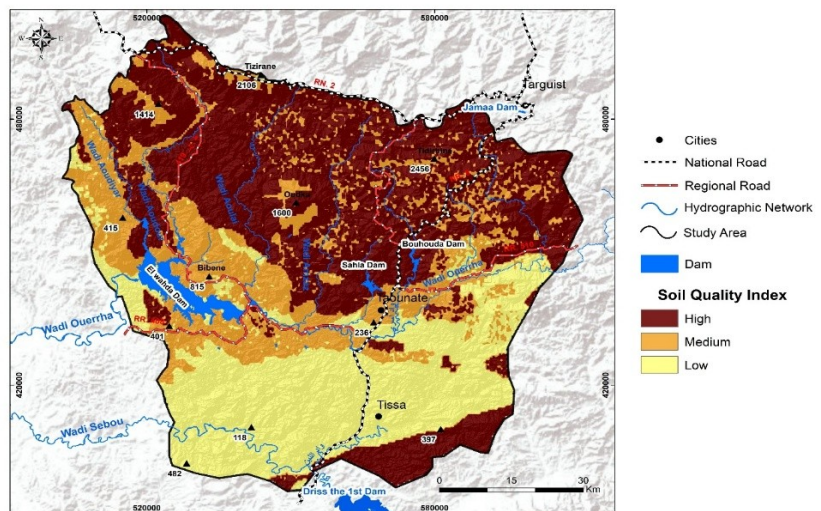


Figure 5. Correlation Coefficients between Quality Indices.

The middle and some northernmost areas of the study area are characterized by medium soil quality, giving them medium resistance, covering about 35% of the area (Table 3). This is due to the violent dynamics of this area and also to the severe loss of vegetation cover as a result of continuous deforestation to expand agricultural areas. This has contributed to making it moderately sensitive to degradation.

Table 3. The spatial distribution of the SQI in the study area

Class	Quality	Range	Areas (%)
1	High	< 1.30	36
2	Medium	1.13–1.45	35
3	Low	> 1.46	29

As for the poor-quality category, it constitutes about 29% of the total area of the study area (Table 3) and occupies large areas in the southern part. It is highly susceptible to degradation due to a combination of factors, such as its low water storage capacity due to its high clay composition, especially in climatic conditions characterized by successive dry years. It is also characterized by low resistance to erosion due to the prevalence of fragile clayey rocks.

5. Conclusion

The SQI was calculated using the MEDALUS approach, it can be applied as an effective tool for assessing soil quality, considering various soil parameters and giving the most consistent results. The results clearly show the impact of overexploitation on the slopes, and forest clearing, and climatic factors manifested in successive dry years, on soil quality. Soil quality indexing involves a three-step process: 1) identifying a set of indicator data; 2) converting the indicators into weighted values; and 3) integrating all indicator scores into a final SQI value. This method has made it possible to monitor changes in soil quality across various landscapes under different land uses. This approach can contribute to the development of accurate soil quality maps using spatially based information that is cost-effective and available. Areas such as forests, pastures and agricultural lands, slopes where human activities have led to soil degradation and agricultural land use transformation, need accurate and quantitative information sources to maintain their sustainable development.

Funding and Acknowledgements

This research was supported by the Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique (CNRST) through the Ibn Khaldoun Program, within the framework of the project “Reducing the Socio-Economic Impacts of Climate Change in Northern Morocco Based on Integrated Planning for Better Mitigation (RE-CLIMPLAN), 2019–2025.”; coordinated by the University Mohammed V in Rabat, Morocco, University Institute of African, Euro-Mediterranean and Ibero-American

Studies. The authors gratefully acknowledge the financial and institutional support provided by CNRST and all partners involved in the project. The authors also thank the institutions and collaborators who contributed to this research. The authors declare that they have no competing interests.

References

- Baartman, J. E., van Lynden, G. W., Reed, M., Ritsema, C., & Hessel, R. (2007). *Desertification and land degradation: Origins, processes and solutions* (tech. rep.). DESIRE. Wageningen.
- Bauer, S. (2016). The united nations and the fight against desertification: What role for the unccd secretariat? In *Governing global desertification* (pp. 93–108). Routledge.
- Bourg, I. C., & Ajo-Franklin, J. B. (2017). Clay, water, and salt: Controls on the permeability of fine-grained sedimentary rocks. *Accounts of Chemical Research*, 50(9), 2067–2074.
- El Motaki, H. (2024). *Spatial modelling of environmental degradation of fragile areas in central rif mountains and their southern margins* [Doctoral dissertation, Ibn Tofail University] [In Arabic].
- El Motaki, H., El-Fengour, A., Aissa, E., Madureira, H., & Monteiro, A. (2019). The global change impacts on forest natural resources in central rif mountains in northern morocco: Extensive exploration and planning perspective.
- Ferrara, A., Salvati, L., Sateriano, A., & Nolè, A. (2012). Performance evaluation and cost assessment of a key indicator system to monitor desertification vulnerability. *Ecological Indicators*, 23, 123–129.
- Gartet, A., Gartet, J., & García, C. C. (2006). Exploitation des salines au massif diapirique de tissa et impacts environnementaux: Prérif central, maroc septentrional. *Papeles de Geografía*, (44), 23–38.
- Hatfield, J. L., Antle, J., Garrett, K. A., Izaurrealde, R. C., Mader, T., Marshall, E., Nearing, M., Robertson, G. P., & Ziska, L. (2020). Indicators of climate change in agricultural systems. *Climatic Change*, 163(4), 1719–1732.
- Imam, F. E., Smiraglia, D., Pulina, A., Assennato, F., Raparelli, E., & Seddaiu, G. (2025). Desertification risk: Bibliometric analysis and future research directions. *Land Degradation & Development*.
- Kosmas, C., Danalatos, N., Poesen, J., & Van Wesemael, B. (1998). The effect of water vapour adsorption on soil moisture content under mediterranean climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 36(2), 157–168.
- Kosmas, C., Karamesouti, M., Kounalaki, K., Detsis, V., Vassiliou, P., & Salvati, L. (2016). Land degradation and long-term changes in agro-pastoral systems: An empirical analysis of ecological resilience in asteroussia-crete, greece. *CATENA*, 147, 196–204.
- Laaribya, S., & Alaoui, A. (2025). Spatio-temporal trends and climate change impacts on land cover dynamics in talassemtane national park, morocco, using artificial intelligence and google earth engine. *Journal of Sustainable Forestry*, 44(6), 289–318.
- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12(6), 519–539.
- Lee, C., & Skogerboe, J. (1985). Quantification of erosion control by vegetation on problem soils.

- Li, M., Shi, X., Shen, Z., Yang, E., Bao, H., & Ni, Y. (2019). Effect of hillslope aspect on landform characteristics and erosion rates. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(9), 598.
- Monteleone, M., Gatta, G., Giuzio, L., La Rotonda, P., & De Caro, A. (2004). Effect of leaching on salt accumulation in the soil under brackish water irrigation. *Proceedings of the International Workshop and Special Session on Management of Poor Quality Waters for Irrigation*.
- Moore, H., Fox, H., Harrouni, M., & Alami, A. E. (1998). Environmental challenges in the rif mountains, northern morocco. *Environmental Conservation*, 25(4), 354–365.
- Ni, S., Shi, B., Zhao, J., Wang, D., Zhu, L., Wang, J., & Cai, C. (2024). A review of impacts of soil rock fragments on slope erosion: Mechanism and processes. *Land Degradation & Development*, 35(10), 3226–3243.
- Poesen, J., & Lavee, H. (1994). Rock fragments in top soils: Significance and processes. *CATENA*, 23(1–2), 1–28.
- Salvati, L., Mavrakakis, A., Colantoni, A., Mancino, G., & Ferrara, A. (2015). Complex adaptive systems, soil degradation and land sensitivity to desertification: A multivariate assessment of italian agro-forest landscape. *Science of the Total Environment*, 521, 235–245.
- Schaetzl, R. J., Krist, F. J., Stanley, K., & Hupy, C. M. (2009). The natural soil drainage index: An ordinal estimate of long-term soil wetness. *Physical Geography*, 30(5), 383–409.
- Sivakumar, M. V. (2007). Interactions between climate and desertification. *Agricultural and Forest Meteorology*, 142(2–4), 143–155.
- Wang, Y., Deng, C., Liu, Y., Niu, Z., & Li, Y. (2018). Identifying change in spatial accumulation of soil salinity in an inland river watershed, china. *Science of the Total Environment*, 621, 177–185.

Lagos de ar frio no setor norte de Coimbra: análise integrada da dinâmica topoclimática e implicações para o ordenamento do território

Cold-air pools in the northern sector of Coimbra: an integrated analysis of the topoclimatologic dynamics and implications for spatial planning

André Lucas ^{*1}, José Miguel Lameiras ^{**2} e António M. Rochette Cordeiro ^{***3}

¹ *Mestrando em Geografia Física, Ambiente e Ordenamento do Território, Departamento de Geografia e Turismo, Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra, 3004-504 Coimbra, Portugal*

² *Faculty of Sciences, University of Porto, 4169-007 Porto, Portugal, BIOPOLIS/CIBIO-Research Centre in Biodiversity and Genetic Resources, 4485-661 Vairão, Portugal*

³ *Faculty of Arts and Humanities, University of Coimbra, 3004-504 Coimbra, Portugal, Center for Interdisciplinary Studies (CEIS20), 3000-186 Coimbra, Portugal*

Resumo

Este artigo apresenta uma análise integrada da dinâmica dos lagos de ar frio nos três vales do setor norte de Coimbra (Coselhas, Eiras e a depressão de Souselas/Fornos), com base em três estudos individuais previamente publicados. O fenómeno forma-se exclusivamente sob condições anticiclónicas, por arrefecimento radiativo e drenagem catabática das vertentes envolventes, desenvolvendo-se em três fases distintas: formação, intensificação e dissipação. A análise sazonal, realizada exclusivamente no vale de Eiras, confirmou o carácter primariamente invernal do fenómeno, ausente em condições de céu encoberto e durante o verão. A estrutura vertical foi caracterizada com recurso a levantamentos de VANT, tendo sido identificadas inversões térmicas bem definidas em todos os vales, com altitudes do topo que refletem as características morfológicas específicas de cada depressão. Os três vales apresentam perfis funcionais distintos, urbano consolidado, periurbano em transformação e rural-industrial, com implicações diferenciadas para o ordenamento do território. O estudo sublinha a necessidade de integrar a topoclimatologia nos instrumentos de gestão territorial e de implementar sistemas de monitorização da qualidade do ar nos fundos de vale.

Palavras-chave: Lagos de ar frio. Inversão térmica. Topoclimatologia. Clima mediterrânico. Ordenamento do território. Coimbra.

Abstract

This article presents an integrated analysis of the dynamics of cold-air pools in three valleys located in the northern sector of Coimbra (Coselhas, Eiras, and the Souselas/Fornos

Cadernos de
Geografia

doi: https://doi.org/10.14195/0871-1623_53_4

Recebido a:
8 de maio de 2026
Aprovado a:
7 de julho de 2026

*Email: andrefrancisco724@gmail.com

**Email: jmlameiras@fc.up.pt

***Email: rochettecordeiro@fl.uc.pt

depression), based on three previously published individual studies. The phenomenon forms exclusively under anticyclonic conditions, through radiative cooling and katabatic drainage from the surrounding slopes, and develops in three distinct phases: formation, intensification, and dissipation. Seasonal analysis, conducted exclusively in the Eiras valley, confirmed the primarily winter character of the phenomenon, which is absent under overcast conditions and during the summer. The vertical structure was characterized using UAV-based surveys, which identified well-defined thermal inversions in all valleys, with inversion top altitudes reflecting the specific morphological characteristics of each depression. The three valleys exhibit distinct functional profiles—consolidated urban, peri-urban in transition, and rural-industrial—with differentiated implications for spatial planning. The study highlights the need to integrate topoclimatology into territorial management instruments and to implement air quality monitoring systems in valley bottoms.

Keywords: Cold-air pools. Thermal inversion. Topoclimatology. Mediterranean climate. Spatial planning. Coimbra.

1. Introdução

A climatologia urbana tem demonstrado de forma consistente que os espaços urbanos e periurbanos não constituem sistemas climáticos homogêneos, mas antes mosaicos complexos de microclimas, resultantes da interação entre processos atmosféricos, morfologia do relevo, uso e ocupação do solo e estrutura edificada (Lemoine-Rodríguez et al., 2022; Masson et al., 2020; Oke, 2006; Qian et al., 2022; Stewart & Oke, 2012). Estudos mais recentes reforçam a existência de uma elevada variabilidade térmica intraurbana, evidenciando o papel determinante da morfologia urbana, da heterogeneidade do uso do solo e da estrutura funcional da cidade na organização dos padrões climáticos locais (Silva et al., 2024; Wang et al., 2025). A compreensão desta variabilidade climática assume crescente relevância no contexto do desenvolvimento urbano sustentável, entendido como um sistema que integra de forma equilibrada as dimensões ambiental, social e económica do território (Purvis et al., 2019), e que encontra expressão normativa nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030, designadamente no ODS 11 (cidades e comunidades sustentáveis) e no ODS 3 (saúde e bem-estar) (United Nations, 2015). Embora a maioria dos estudos em climatologia urbana se tenha centrado no fenómeno das ilhas de calor urbanas (Oke et al., 2017), outros processos associados à camada limite estável, como a formação de lagos de ar frio (Cold Air Pools – CAPs), assumem particular relevância em territórios com forte condicionamento topográfico. A caracterização destes fenómenos permite identificar áreas de maior vulnerabilidade ambiental e populacional, com impacto direto na qualidade do ar e no conforto térmico, apoiando decisões de planeamento territorial alinhadas com os objetivos de sustentabilidade (Baker et al., 2011; Oke et al., 2017).

Os lagos de ar frio constituem um fenómeno típico de noites sob influência anticlónica, caracterizadas por forte estabilidade atmosférica, céu limpo e ventos fracos, durante as quais o ar mais frio e denso se acumula nos fundos de vale e em depressões topográficas (Bacer et al., 2024; Ganho, 1999; Lopes, 1995; Pastore et al., 2024). Esta acumulação origina uma inversão térmica nas camadas mais baixas da

atmosfera, isto é, uma situação em que a temperatura aumenta com a altitude em vez de diminuir, contrariando o gradiente térmico vertical normal. A camada de ar frio aprisionada junto ao solo, delimitada superiormente pelo topo da inversão, constitui o lago de ar frio (Bacer et al., 2024; Bodine et al., 2009; Ganho, 1999; Lopes, 1995; Pastore et al., 2024). A sua formação resulta, em geral, de um processo combinado de arrefecimento radiativo da superfície e de drenagem gravitacional de ar frio proveniente das vertentes adjacentes, os chamados fluxos catabáticos, embora a importância relativa destes mecanismos continue a ser objeto de debate na literatura científica (Bodine et al., 2009; Burns & Chemel, 2014, 2015; Vosper et al., 2014; Whiteman, 2000). A localização dos lagos de ar frio em áreas topograficamente deprimidas tem sido estreitamente associada à topografia que influencia os processos de drenagem de ar frio ao longo das encostas (Bodine et al., 2009; Oke et al., 2017; Yoshino, 1984), sendo a espessura variável destas acumulações determinada pela maior ou menor intensificação da drenagem e pela rugosidade do solo (Lopes, 1995; Yoshino, 1984). Trabalhos recentes sublinham que, em muitos casos, a simples existência de uma morfologia favorável à redução da turbulência e à proteção contra a ventilação regional pode ser determinante para a formação de lagos de ar frio, reforçando a ideia de que estes fenómenos devem ser entendidos como sistemas topoclimáticos fortemente dependentes da geometria do vale ou da bacia onde se desenvolvem (Clements et al., 2003; Rauchöcker et al., 2024; Vosper et al., 2013).

A persistência da inversão térmica atua como uma barreira à dispersão vertical de poluentes (Anquetin et al., 1999; Baker et al., 2011; Lareau et al., 2013; Largeron & Staquet, 2016) e favorece simultaneamente o desconforto bioclimático, a formação de geada, gelo e nevoeiro (Price et al., 2011; Yoshino, 1984), com particular impacto em zonas urbanizadas onde estas condições afetam diretamente as populações residentes e as atividades aí instaladas (Nidzgorska-Lencewicz & Czarnecka, 2020; Pinto et al., 2008; Yavuz, 2025).

No contexto do clima mediterrânico, os estudos sobre lagos de ar frio são ainda escassos e a sua aplicação ao planeamento do território permanece incipiente. Na Península Ibérica, destacam-se os trabalhos desenvolvidos na bacia urbana de Madrid (Rasilla et al., 2023) e em diferentes regiões de Portugal, desde contextos de montanha na Serra da Estrela (Mora, 2009) e contextos rurais vitícolas no Alto Douro (Sanderson et al., 2022), até contextos de média montanha litoral na Arrábida e vales periurbanos e rurais na região de Lisboa (Alcoforado et al., 1993; Lopes, 1995). Em Coimbra, os estudos iniciaram-se no vale de Coselhas quando este se encontrava ainda numa fase de transição urbana (Ganho, 1998; Marques et al., 2007), tendo os trabalhos mais recentes documentado o mesmo vale já como espaço urbano algo consolidado (Cordeiro et al., 2023), e alargado o âmbito de análise ao vale periurbano de Eiras (Cordeiro et al., 2026) e à depressão de Souselas/Fornos, de carácter mais rural e industrial (Cordeiro, 2025). Apesar de incidirem sobre contextos territoriais diferenciados em termos de forma do relevo, grau de urbanização e fontes potenciais de poluição, estes três estudos recorreram a metodologias comparáveis, não tendo sido ainda objeto de uma abordagem integrada que permita compreender de forma sistemática a dinâmica dos lagos de ar frio nos diferentes contextos morfológicos do setor norte do município de Coimbra. Esta ausência de síntese limita a identificação

de padrões topoclimáticos comuns e reduz o potencial de transferência dos resultados para o domínio do planeamento e da gestão ambiental.

O presente artigo propõe uma leitura integrada dos lagos de ar frio nos três vales do setor norte de Coimbra, evidenciando o seu papel enquanto sistemas topoclimáticos estruturados e contribuindo para o avanço do conhecimento em climatologia urbana. Pretende-se, em particular: a) analisar a formação e a evolução diurna e sazonal do fenómeno, considerando a influência da topografia, do campo de vento e da estrutura da inversão térmica; b) caracterizar os territórios afetados em termos de ocupação do solo e estrutura demográfica; e c) avaliar as suas implicações ao nível da qualidade do ar, do conforto térmico e do ordenamento do território. Ao articular diferentes contextos morfológicos e funcionais, o estudo demonstra que a variabilidade destes processos resulta da interação entre topografia, uso do solo e condições atmosféricas, reforçando a necessidade de integrar a dimensão topoclimática no planeamento territorial.

2. Enquadramento geográfico

Os vales de Coselhas, Eiras e a depressão de Souselas/Fornos inserem-se no setor nordeste do município de Coimbra, cidade de média dimensão do centro-litoral de Portugal com cerca de 100.000 habitantes (Figura 1A), cujo território é marcado por fortes contrastes morfoestruturais. Coimbra ocupa uma posição de transição entre a Orla Mesocenozoica Ocidental, onde se desenvolvem a planície aluvial do rio Mondego e a plataforma pliocénica de baixa altitude nos setores ocidental, norte e sul, e, a leste, o Maciço Hespérico, onde se destaca o Maciço Marginal de Coimbra, com altitudes superiores a 500 m e vertentes que frequentemente apresentam declives acima de 25 °C (Cunha et al., 1999; Rebelo, 1999). A transição entre estas duas grandes unidades geomorfológicas é abrupta e estruturalmente condicionada, refletindo um forte controlo tectónico que determina a presença de pequenos vales encaixados na margem direita do rio Mondego, desenvolvidos ao longo da vertente ocidental do Maciço Marginal (Figura 1B). A Figura 1C representa as bacias hidrográficas da Ribeira de Coselhas, da Ribeira de Eiras e da Ribeira de Fornos, correspondendo às três unidades territoriais em análise no presente estudo.

Climaticamente, a região situa-se a ocidente dos relevos que as massas de ar oceânicas encontram à medida que se deslocam para leste, conferindo uma forte influência mediterrânica e mantendo um intenso impacto marítimo (Daveau, 1985; Ferreira, 2005; Ganho, 1999; Marques et al., 2007). Os invernos são chuvosos, com uma precipitação média anual ligeiramente inferior a 1000 mm, e as massas de ar frio afetam ocasionalmente a região. Os verões, pelo contrário, são tipicamente secos e quentes. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região enquadra-se no tipo Csb, embora este seja localmente modificado a leste pelo Maciço Marginal de Coimbra, no setor central pelo rio Mondego, pela sua planície aluvial e pelas características da morfologia urbana.

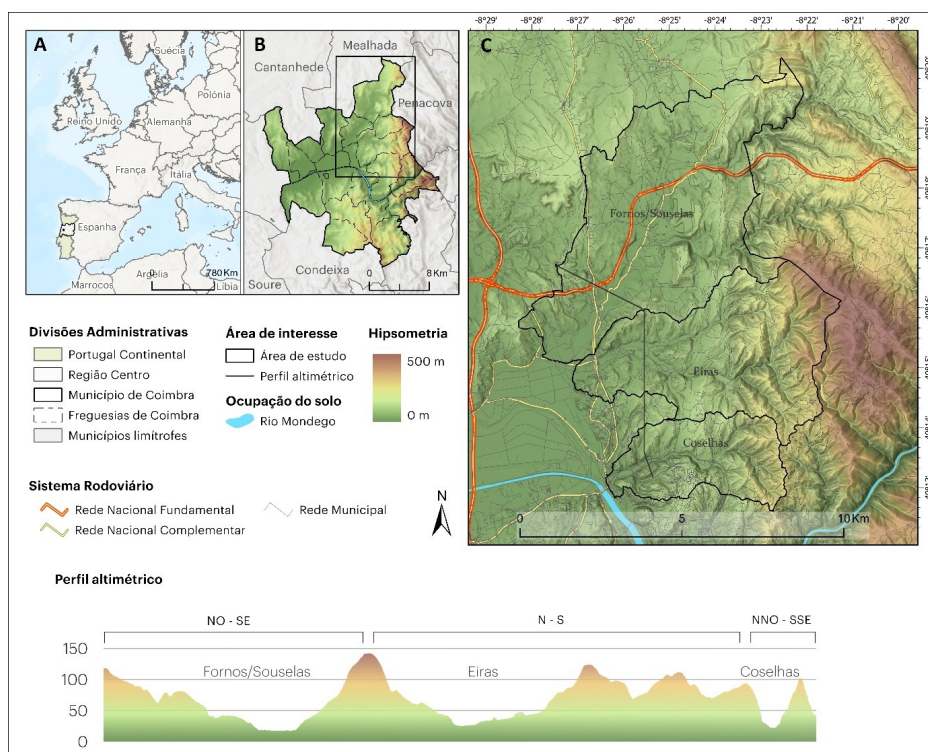


Figura 1. Enquadramento geográfico da área de estudo. (A) Localização de Portugal e de Coimbra na Europa e na Península Ibérica. (B) Município de Coimbra com indicação das três áreas de estudo. (C) Os três vales do setor norte de Coimbra – Coselhas, Eiras e Souselas/Fornos – e a sua envolvente morfológica.

A morfologia destes vales resulta de um forte condicionamento estrutural, sendo a falha Porto-Tomar o acidente tectónico dominante na organização do relevo regional. Com orientação geral NNW-SSE, esta falha define a transição entre o Maciço Hespérico e a Orla Mesoceno-zóica Ocidental e condiciona o traçado dos principais alinhamentos morfológicos do setor norte de Coimbra (Cunha et al., 1999; Rebelo, 1999; Tavares, 1999). É no quadro deste condicionamento estrutural que se desenvolvem os vales encaixados e as depressões tectónicas que caracterizam a área de estudo e que, como se verá, exercem um papel determinante nos padrões de drenagem e acumulação de ar frio documentados nos capítulos seguintes.

O vale de Coselhas desenvolve-se com orientação geral OSO-ENE, correspondendo a um vale estreito e estruturalmente condicionado, com altitudes do talvegue entre 12 e 100 m e cerca de 3 km de extensão. Em alguns setores apresenta pequenas aberturas de controlo tectónico e é ladeado por níveis planálticos situados a cerca de 100 m (as cumeadas), tanto na vertente norte como na sul, esta última densamente urbanizada desde meados do século XX, e onde a ilha de calor urbana se encontra significativamente desenvolvida, contrastando com o fundo de vale (Cordeiro et al., 2023; Marques et al., 2007).

O vale de Eiras configura uma depressão alongada com orientação aproximada OSO-ENE e cerca de 3 km de extensão. As altitudes do fundo de vale variam entre 25

e 50 m na secção central, enquanto o relevo envolvente se eleva de forma significativa: a norte, a crista de Logo de Deus atinge 100–150 m, e a leste o Maciço Marginal. A secção transversal do vale é assimétrica, com a vertente norte mais íngreme e a vertente sul mais suave, o que condiciona os padrões de drenagem de ar frio e os contrastes térmicos internos.

Por seu turno, a depressão de Souselas/Fornos apresenta orientação nordeste-sudoeste e configura uma bacia tectónica alongada, com fundo relativamente plano situado entre 20 e 50 m de altitude e cerca de 6 km de extensão longitudinal. Os limites da depressão são definidos por níveis estruturais bem individualizados: a oeste, os níveis da plataforma costeira (100–120 m); a norte, os níveis de Larçã e Pampilhosa do Botão (110–112 m); a sul, os níveis de Logo de Deus (125 m); e a leste, o Maciço Marginal de Coimbra.

A análise da ocupação do solo, com base na Carta de Ocupação do Solo (COS), evidencia perfis funcionais marcadamente distintos entre os três vales (Figura 2). O vale de Coselhas apresenta o grau de artificialização mais elevado, com cerca de 27% da área ocupada por uso residencial e 4,3% por equipamentos coletivos. No que respeita aos equipamentos sensíveis, representados na figura através de dados pontuais, este vale concentra seis unidades hospitalares – incluindo o principal polo hospitalar da região Centro (Hospital da Universidade de Coimbra e Hospital Pediátrico) – e 14 unidades escolares, evidenciando uma densidade de infraestruturas sensíveis significativamente superior à dos restantes vales. O vale de Eiras configura um território de transição periurbana, com 10,4% de área residencial e 2,6% de área industrial e logística. Embora o comércio e os serviços representem apenas cerca de 1% da ocupação total, este vale concentra um número significativo de superfícies comerciais de grande dimensão, coexistindo com equipamentos escolares localizados no fundo de vale. Por sua vez, a depressão de Fornos/Souselas insere-se num contexto mais ruralizado, apresentando apenas 9,1% de área residencial. A presença industrial assume aqui particular relevância, representando 3,1% da área total, destacando-se a instalação de uma unidade de produção de cimento e respetiva pedreira, classificada, nos últimos anos, como a sexta instalação industrial mais poluente de Portugal. Nesta depressão identificam-se igualmente alguns equipamentos escolares.

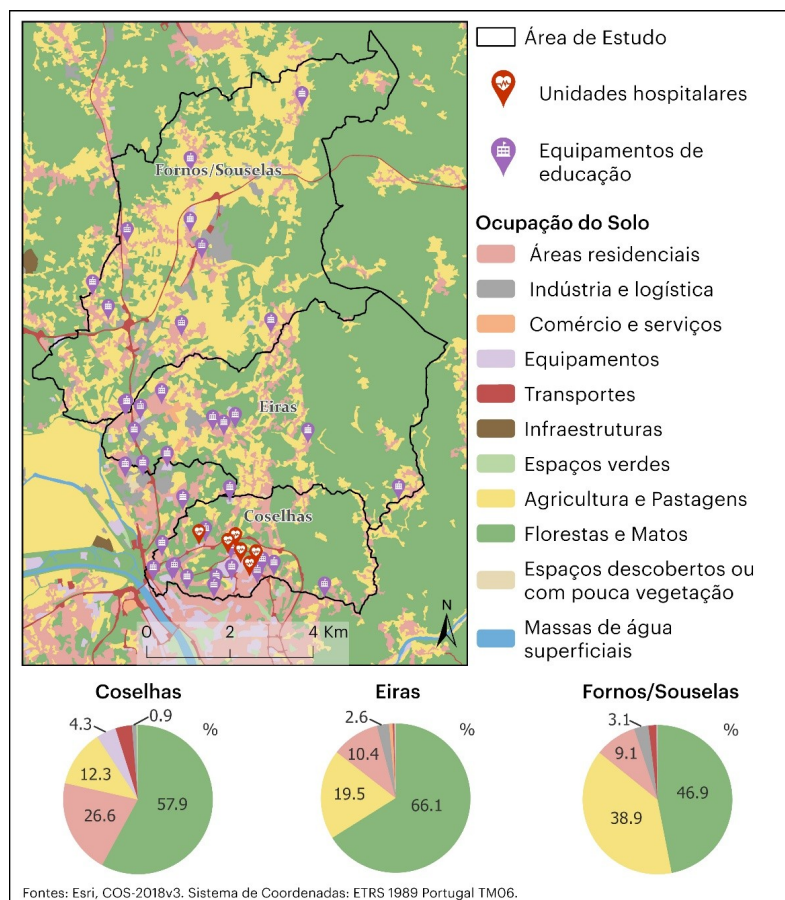


Figura 2. Ocupação do solo nos três vales do setor norte de Coimbra, com localização das unidades hospitalares e dos equipamentos de educação.

No que respeita à estrutura demográfica (Figura 3), a análise baseou-se nos dados dos Censos, cuja incompatibilidade espacial com os limites das bacias hidrográficas foi resolvida mediante interpolação areal dasimétrica (Comber & Zeng, 2019; Mennis & Hultgren, 2006). O vale de Coselhas é o que apresenta maior densidade, com cerca de 1000 hab/km², concentrada sobretudo no setor sul, em maior continuidade com o tecido urbano consolidado de Coimbra. O vale de Eiras regista uma densidade de aproximadamente 399 hab/km², com maior concentração no Bairro de Santa Apolónia, a noroeste, e na localidade de Eiras. A depressão de Fornos/Souselas é a área de estudo com menor densidade populacional, cerca de 190 hab/km², reflexo do seu carácter predominantemente rural, com a população distribuída de forma dispersa por diversas pequenas localidades.

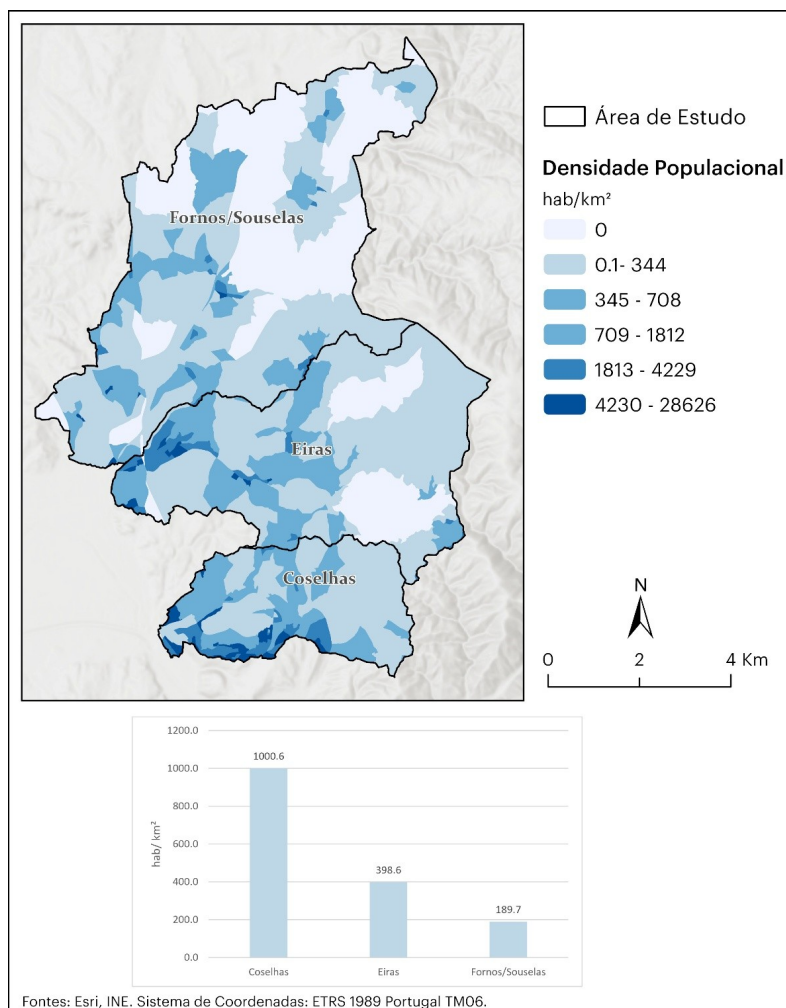


Figura 3. Densidade populacional por subsecção estatística nos três vales do setor norte de Coimbra, obtida por interpolação areal dasimétrica, com representação gráfica da estrutura demográfica por bacia hidrográfica.

Em síntese, os três vales constituem compartimentos topográficos distintos, mas geneticamente relacionados, cuja organização resulta de um forte controlo estrutural e da interação entre litologia, tectónica e dinâmica de vertente. Apesar da proximidade espacial e da génese comum associada à margem ocidental do Maciço Marginal de Coimbra, apresentam diferenças marcadas ao nível da morfologia, do grau de confinamento topográfico, da ocupação do solo e da estrutura demográfica. Estas particularidades refletem-se diretamente no funcionamento climático local, condicionando os padrões de drenagem, acumulação e estagnação de ar frio, bem como a intensidade e frequência das inversões térmicas. A diversidade de contextos de uso do solo, desde áreas densamente urbanizadas com infraestruturas sensíveis até territórios de carácter mais rural e industrial, introduz, simultaneamente, níveis diferenciados de vulnerabilidade e exposição aos fenómenos climáticos locais, constituindo

este enquadramento geográfico e morfofuncional um elemento fundamental para a compreensão integrada dos processos térmicos analisados nos capítulos seguintes.

3. Metodologia

O presente estudo assume-se como um artigo de síntese, integrando de forma comparativa os resultados de três estudos individuais previamente publicados sobre os vales de Coselhas, Souselas/Fornos e Eiras (Cordeiro, 2025; Cordeiro et al., 2023, 2026). Embora os três estudos partilhem um enquadramento conceptual comum, cada um deles foi desenvolvido com objetivos específicos, o que se refletiu nos períodos e horários de medição adotados (Figura 4). Nos vales de Coselhas e de Souselas/Fornos, o objetivo principal consistiu na caracterização do funcionamento diário dos lagos de ar frio ao longo do ciclo noturno–diurno, privilegiando a análise da sua formação, maturação e dissipação. Por sua vez, no vale de Eiras, o enfoque incidiu sobretudo na avaliação da sazonalidade do fenómeno, comparando situações atmosféricas contrastantes ao longo do ano.

A par das opções metodológicas relativas à recolha de dados, importa clarificar a delimitação espacial das áreas de estudo. Esta foi efetuada com base nas bacias hidrográficas das ribeiras que drenam cada um dos vales, extraídas a partir do Modelo Digital de Terreno (MDT) em ambiente SIG. A opção por esta unidade de análise justifica-se por razões de ordem morfológica e funcional: as bacias hidrográficas são delimitadas pelas linhas de fecho que separam as áreas de drenagem, correspondendo precisamente aos limites topográficos que condicionam os padrões de escoamento e acumulação de ar frio. Trata-se, portanto, de um critério objetivo, reproduzível e diretamente ancorado na morfologia do terreno, que serviu igualmente de unidade de referência para a caracterização da ocupação do solo e da estrutura demográfica dos três vales, permitindo uma análise territorialmente coerente e comparável. Uma vez que parte das bacias se estende para além dos limites administrativos do município de Coimbra, procedeu-se ao recorte de cada bacia pela área municipal, de forma a circunscrever a análise ao território de estudo e garantir a coerência com os três estudos anteriores nos quais este trabalho se baseia (Cordeiro, 2025; Cordeiro et al., 2023, 2026).

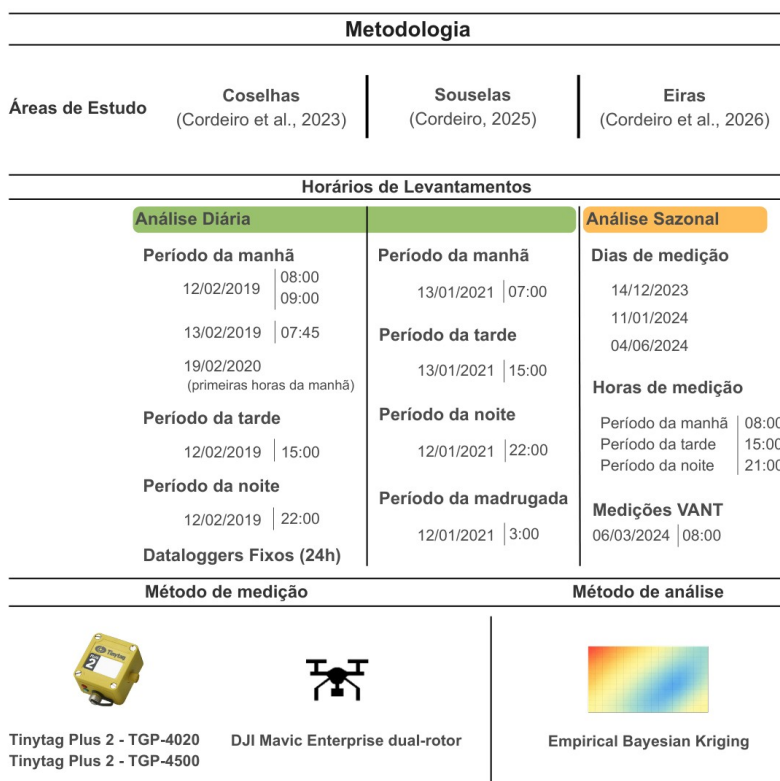


Figura 4. Esquema de síntese da metodologia adotada nos três estudos, com indicação dos períodos e horários de medição, instrumentação utilizada e procedimentos de análise espacial.

Apesar das diferenças de enfoque e de organização temporal dos três estudos, foi adotada uma metodologia de recolha de dados homogênea, assente em dois componentes principais: medições de temperatura à superfície através de percursos móveis e levantamentos verticais com recurso a veículos aéreos não tripulados (VANT). Em todos os casos, a temperatura do ar foi medida ao nível próximo da superfície, através de percursos móveis com recurso a registadores Tinytag Plus 2 (modelos TGP-4020 e TGP-4500), posicionados a aproximadamente 1,5 m acima do solo. Os percursos foram previamente definidos de modo a abranger os fundos de vale, as vertentes intermédias e os setores topograficamente mais elevados, assegurando a representatividade das diferentes unidades morfológicas. Em cada ponto de observação, o veículo permanecia imobilizado durante cerca de 60 a 90 segundos, assegurando a estabilização do sensor e a fiabilidade do registo térmico.

Em Coselhas, as campanhas de medição foram realizadas nos dias 12 e 13 de janeiro de 2019, com o objetivo de efetuar levantamentos distribuídos ao longo de todo o fundo do vale. As medições incluíram observações no período noturno (22:00), no período da manhã (07:45, 08:00 e 09:00) e durante a tarde (cerca das 15:00), permitindo caracterizar a evolução térmica ao longo do ciclo diário. Posteriormente, realizou-se um novo levantamento no dia 19 de fevereiro de 2020, centrado exclusivamente no setor do talvegue, com o objetivo de aprofundar a análise da estrutura

térmica no núcleo do lago de ar frio. Esta campanha decorreu nos momentos imediatamente anteriores à exposição solar direta das encostas do vale. Para além das medições móveis, foram igualmente instalados sensores fixos, possibilitando uma análise temporal contínua e mais abrangente das condições térmicas.

Na depressão de Souselas, foi adotada uma estratégia temporal mais detalhada, com medições realizadas no período noturno (entre as 22:00 e as 23:00), na madrugada (cerca das 03:00), no período da manhã (aproximadamente às 07:00) e durante a tarde (cerca das 15:00). Esta distribuição horária permitiu captar as diferentes fases de formação, intensificação e dissipação do lago de ar frio ao longo do ciclo diário. As campanhas decorreram nos dias 12 e 13 de janeiro de 2021, sob condições atmosféricas estáveis, favoráveis à acumulação de ar frio na depressão.

No vale de Eiras, embora o fenómeno em análise seja o mesmo, o objetivo do estudo é distinto, centrando-se na avaliação da sazonalidade do lago de ar frio. As medições foram realizadas exclusivamente em três momentos do dia – manhã (08:00), tarde (15:00) e noite (21:00) – em três dias com condições atmosféricas contrastantes, de modo a avaliar a resposta térmica do vale em diferentes contextos sazonais. A primeira campanha decorreu em 14 de dezembro de 2023, durante a estação fria, sob influência anticiclónica e céu limpo, condições favoráveis à formação e estabilização de lagos de ar frio. A segunda campanha, realizada em 11 de janeiro de 2024, correspondeu a uma situação de inverno atmosféricamente desfavorável, caracterizada por nebulosidade persistente e maior instabilidade. A terceira campanha teve lugar em 4 de junho de 2024, em período estival, sob condições estáveis, mas com forte aquecimento diurno, permitindo avaliar a expressão do fenómeno num contexto térmico distinto. Esta estratégia possibilitou analisar não apenas a ocorrência do lago de ar frio, mas também a sua atenuação ou ausência em diferentes enquadramentos atmosféricos e sazonais. As campanhas de levantamento com VANT foram realizadas na manhã de 6 de março de 2024, sob condições frias e céu limpo, semelhantes às registadas em 14 de dezembro. A Figura 5 sintetiza a localização dos pontos de medição à superfície e dos perfis VANT realizados nos três vales, permitindo uma leitura espacialmente integrada das campanhas de campo.

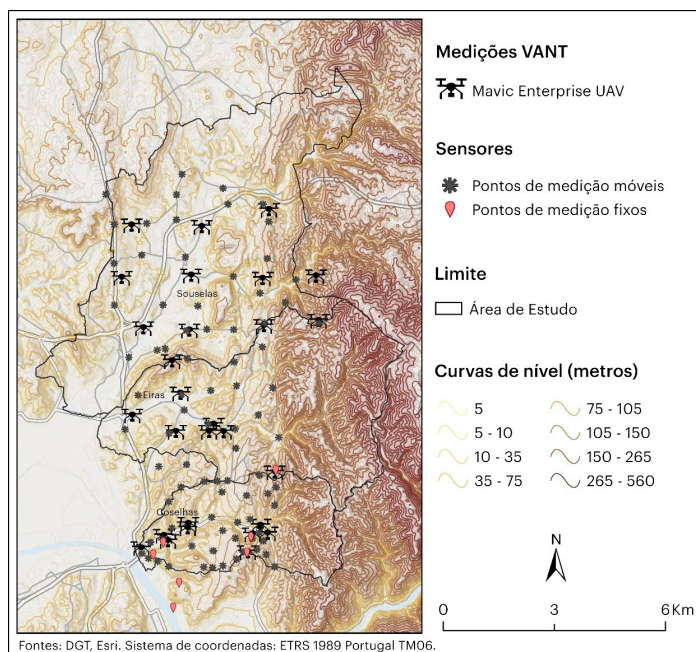


Figura 5. Localização dos pontos de medição à superfície e dos perfis VANT nos três vales do setor norte de Coimbra.

De modo a caracterizar a estrutura vertical da camada atmosférica inferior, foram realizados levantamentos com recurso a VANT, aos quais foram acoplados sensores de temperatura, permitindo a obtenção de perfis térmicos verticais de elevada resolução. Estes perfis possibilitaram a identificação da inversão térmica, a determinação da sua altitude e a estimativa da espessura da camada fria associada ao lago de ar frio. A metodologia associada ao uso do VANT e do sensor de temperatura (Tinytag Plus 2 – TGP-4020) constitui um elemento central desta abordagem, baseando-se em registos de temperatura e gerando perfis verticais contínuos durante a descida controlada do sensor a uma velocidade aproximada de 1 m/s. O sensor foi posicionado a cerca de 10 m abaixo da aeronave, de modo a minimizar a interferência aerodinâmica induzida pelos rotores. A ascensão foi realizada a uma distância superior a 10 m do ponto de descida, com uma permanência de aproximadamente dois minutos à altitude máxima, assegurando a estabilização térmica do sensor antes do início do perfil descendente. Os sensores apresentam uma resolução de 0,02 °C e uma taxa de resposta térmica de $\pm 0,01$ °C/°C, evidenciando elevada sensibilidade às variações térmicas e garantindo consistência metrológica nos perfis verticais obtidos. Adicionalmente, foi possível estimar a intensidade e direção do vento com base nos parâmetros de voo do VANT, através da análise do ângulo e da velocidade da aeronave em diferentes níveis altimétricos, utilizando o algoritmo de vento – Wind Algorithm v2.2 – AIRDATA.

O tratamento e a análise dos dados seguiram procedimentos uniformes nos três estudos. Todos os registos de temperatura foram georreferenciados e integrados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). A espacialização do campo

térmico à superfície foi realizada através do método Empirical Bayesian Kriging (EBK), implementado no ArcGIS Pro, um método de interpolação geoestatística que tem demonstrado robustez na interpolação de variáveis ambientais com distribuição espacial irregular (Gribov & Krivoruchko, 2020). A aplicação deste método permitiu gerar superfícies térmicas contínuas para os diferentes momentos de observação, identificar os núcleos de ar mais frio, quantificar os gradientes térmicos associados à morfologia do relevo e analisar a relação entre os fundos de vale e os setores topograficamente mais elevados.

4. Resultados comparativos: dinâmica dos lagos de ar frio nos três vales do setor norte de Coimbra

A análise integrada dos três sistemas topográficos evidencia a existência de padrões comuns na formação e evolução dos lagos de ar frio, simultaneamente modulados por diferenças morfológicas, funcionais e antrópicas que conferem a cada vale um comportamento topoclimático específico. Importa ressaltar que as campanhas foram realizadas em datas distintas, pelo que a comparação direta de valores absolutos de temperatura entre os três vales não é metodologicamente adequada; o que se compara são os padrões de funcionamento e as estruturas térmicas documentadas em cada contexto.

4.1. Formação dos lagos de ar frio e condições sinópticas

A formação dos lagos de ar frio foi observada nos três vales estudados, com intensidade e padrões de distribuição espacial dependentes da configuração topográfica e das condições meteorológicas locais. O fenómeno desenvolve-se preferencialmente sob situações anticiclónicas, caracterizadas pela presença de um sistema de alta pressão que favorece céu limpo, ventos sinópticos fracos e ausência de nebulosidade significativa. Estas condições são geralmente interdependentes e propícias à formação do fenómeno: o céu limpo permite que a superfície perca calor por radiação de onda longa durante a noite, sem interferência de nuvens; os ventos fracos limitam a turbulência mecânica, favorecendo a estratificação térmica; e o arrefecimento noturno contribui para o desenvolvimento de gradientes térmicos suficientemente intensos para sustentar a inversão. A formação resulta da atuação conjunta de dois mecanismos principais: o arrefecimento radiativo *in situ* do fundo do vale e a drenagem gravitacional de ar frio proveniente das vertentes envolventes, em particular do Maciço Marginal de Coimbra. O ar arrefecido junto à superfície torna-se mais denso, desloca-se para as zonas topograficamente mais baixas e acumula-se, contribuindo para o estabelecimento da inversão térmica, que é progressivamente reforçada pelos escoamentos descendentes ao longo das encostas durante a noite (Lopes, 1995; Vosper et al., 2013).

Na depressão de Souselas/Fornos, a formação do lago de ar frio revelou-se particularmente intensa, favorecida pela ampla extensão da depressão tectónica e pela proteção conferida pelas encostas envolventes (Cordeiro, 2025). No vale de Coselhas, a configuração encaixada favoreceu igualmente uma acumulação significativa de ar

frio, com um lago persistente durante toda a madrugada (Cordeiro et al., 2023). No vale de Eiras, o lago de ar frio apresentou-se claramente identificável, ainda que com expressão espacial distinta face aos outros dois vales, em resultado da sua morfologia mais aberta (Cordeiro et al., 2026).

4.2. Dinâmica sazonal

A análise sazonal foi realizada exclusivamente no vale de Eiras¹, único caso em que o desenho metodológico incluiu campanhas em contextos climáticos contrastantes.

Os resultados demonstram que a intensidade, a extensão e a existência do fenómeno são significativamente superiores nos meses frios. O papel inibidor da nebulosidade foi confirmado experimentalmente: na campanha de 11 de janeiro de 2024, realizada durante uma situação de céu encoberto com precipitação fraca, não se registou qualquer acumulação de ar frio no fundo do vale durante a manhã. A cobertura de nuvens reduziu as perdas radiativas noturnas da superfície, impedindo o arrefecimento necessário à estratificação. Apenas após a dissipação parcial da nebulosidade e com a chegada da noite seguinte sob céu limpo surgiu uma inversão incipiente, com o fundo do vale a atingir cerca de 5 °C e a crista de Logo de Deus a registar valores em torno dos 8 °C (Cordeiro et al., 2026).

No verão, embora as noites claras e estáveis favorecessem alguma perda de calor radiativo, as temperaturas noturnas mais elevadas reduzem o potencial de arrefecimento junto à superfície, a que acresce a menor duração da noite e a radiação solar mais intensa logo após o nascer do sol. Nas campanhas estivais de 4 de junho de 2024, realizadas sob condições anticiclónicas com céu limpo, não se formou qualquer estrutura térmica estável associada ao lago de ar frio no vale de Eiras, confirmando o carácter primariamente invernal do fenómeno (Cordeiro et al., 2026).

4.3. Dinâmica diurna: formação, intensificação e dissipação

Nos três vales analisados, a evolução diurna dos lagos de ar frio segue um padrão estruturado em três fases: formação inicial no início da noite, intensificação durante a madrugada e início da dissipação após o nascer do sol (Figura 6).

A fase de formação inicia-se ao final da tarde e início da noite, com o arrefecimento radiativo da superfície a desencadear a estratificação térmica e a drenagem gravitacional de ar frio para os fundos de vale. A expressão térmica do lago manifesta-se simultaneamente através de dois padrões complementares: a acumulação de ar frio no fundo das depressões e a formação de cinturas térmicas nos níveis mais elevados que enquadram os vales, onde as temperaturas noturnas são mais elevadas, resultado direto do escoamento do ar frio e denso para as zonas mais baixas.

A fase de intensificação ocorre durante a madrugada, quando as temperaturas atingem os seus valores mínimos e o gradiente térmico vertical se acentua de forma mais pronunciada. No vale de Coselhas, as medições ao longo de percursos móveis

¹ Complementarmente às campanhas de inverno documentadas em Cordeiro et al. (2023), foi também realizada no vale de Coselhas uma observação de verão, que não constituiu objetivo inicial do estudo de base nem foi publicada no artigo correspondente.

e pelos sensores fixos revelaram diferenças entre o fundo do vale e as cumeadas que atingiram regularmente os 8°C nas horas mais frias, chegando a registrar-se uma diferença de quase 10°C entre os pontos de observação STO e LI 1, duas estações separadas por apenas 104 m de diferença altimétrica (Cordeiro et al., 2023). Na depressão de Souselas, os percursos móveis das campanhas de janeiro de 2021 evidenciaram uma amplitude térmica de cerca de $8,1^{\circ}\text{C}$ entre os pontos mais frios do interior da bacia e os níveis de Santa Luzia, registrando-se os mínimos mais expressivos nos setores onde os vales do Resmungão e do Botão desembocam na depressão (Cordeiro, 2025). No vale de Eiras, a diferença entre o fundo do vale e a crista de Logo de Deus rondou os 3°C no início da manhã de 14 de dezembro de 2023, com as temperaturas mais baixas concentradas nos setores mais abrigados do centro da depressão (Cordeiro et al., 2026). Os dados de Souselas permitem ilustrar com particular clareza a fase de maturação: os percursos do início da noite e da madrugada revelaram um padrão de temperatura notavelmente semelhante, com uma variação de apenas cerca de $0,2^{\circ}\text{C}$ entre os dois momentos no interior da bacia, o que indica que o lago atinge uma fase de relativa estabilidade em que os ganhos de ar frio por drenagem e arrefecimento radiativo compensam as perdas por mistura e radiação ascendente do próprio lago (Cordeiro, 2025).

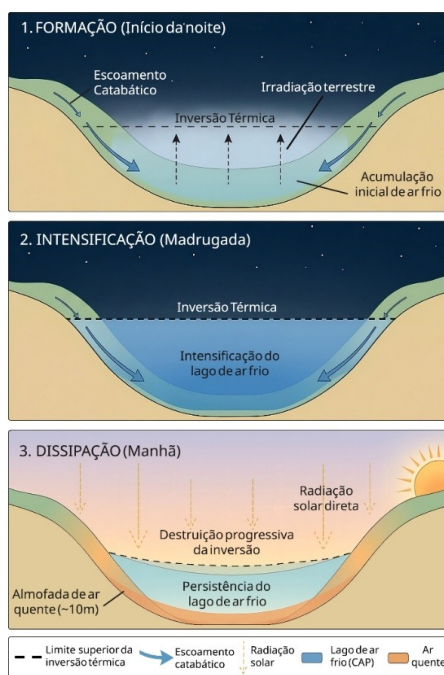


Figura 6. Representação esquemática das três fases do ciclo diurno de um lago de ar frio: (1) formação no início da noite, com acumulação inicial de ar frio no fundo de vale por arrefecimento radiativo e escoamento catabático das vertentes; (2) intensificação durante a madrugada, com aprofundamento do lago e reforço da camada de inversão térmica; (3) dissipação na manhã, com destruição progressiva da inversão pela radiação solar direta e persistência de uma almofada de ar quente junto às encostas ($\approx 10\text{ m}$). A linha tracejada assinala o limite superior da inversão térmica.

A fase de dissipação inicia-se após o nascer do sol, com o aquecimento radiativo das superfícies a promover a convecção, que destrói progressivamente a estratificação térmica a partir da base. Um aspeto notável observado nos três setores foi a formação de uma delgada almofada de ar mais quente, com cerca de 10 m de espessura, junto à superfície: o solo aquece rapidamente, criando localmente uma camada de ar mais quente junto à superfície, enquanto a massa de ar fria do lago persiste por cima desta, com espessura reduzida, mas ainda mensurável (Cordeiro et al., 2023).

4.4. Estrutura vertical e camada de inversão

A camada de inversão térmica revelou-se um elemento fundamental na formação e manutenção dos lagos de ar frio nos três vales estudados, atuando como uma barreira que isola a massa de ar frio junto ao solo e impede a sua mistura com as camadas superiores mais quentes. A Figura 7 ilustra a estrutura vertical típica de um perfil de temperatura em contexto de lago de ar frio, tal como obtido através dos levantamentos com VANT.

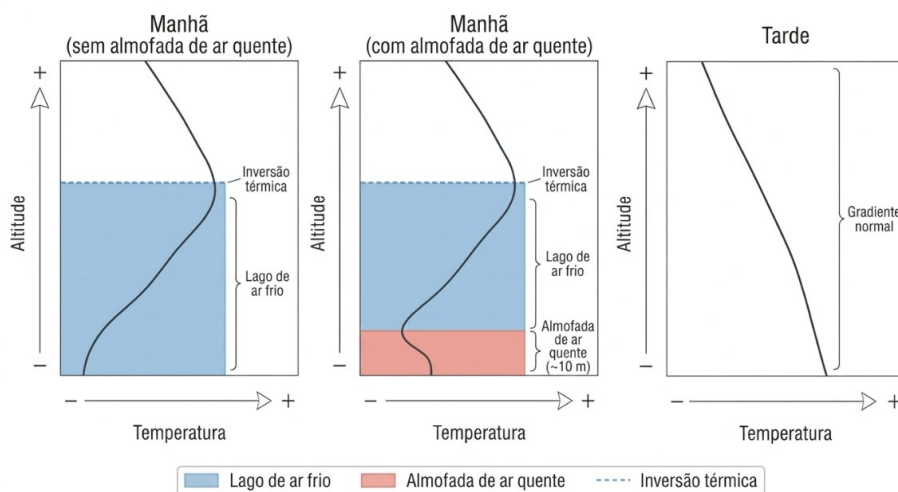


Figura 7. Esquema ilustrativo da estrutura vertical de temperatura em contexto de lago de ar frio, com representação da inversão térmica, da massa de ar frio acumulada no fundo de vale e da almofada de ar quente junto às encostas na fase de dissipação matinal.

Nos perfis verticais obtidos com recurso a VANT, identificou-se de forma consistente a presença de uma inversão térmica bem definida, com espessuras e altitudes variáveis consoante o vale. No vale de Coselhas, os perfis das manhãs de 12 e 13 de fevereiro de 2019 mostraram uma camada de inversão com cerca de 100 m de espessura no início da manhã, com o topo situado a cerca de 120 m de altitude (Cordeiro et al., 2023). Na depressão de Souselas, os 11 perfis obtidos simultaneamente no início da manhã de 13 de janeiro de 2021 revelaram uma inversão bem definida, com o topo a situar-se entre 100 e 125 m nas zonas centrais da depressão, subindo para 150–175 m e mesmo para 200–225 m nos níveis mais elevados já no contexto do Maciço Marginal, refletindo a contribuição adicional da drenagem catabática pro-

veniente dos relevos envolventes (Cordeiro, 2025). No vale de Eiras, os sete perfis obtidos no início da manhã de 6 de março de 2024 evidenciaram uma inversão com topo consistente a aproximadamente 275 m em quase todos os locais amostrados (Cordeiro et al., 2026).

Estes resultados evidenciam que a altura da inversão não depende exclusivamente da profundidade do vale, mas resulta da interação entre morfologia, grau de confinamento topográfico e intensidade da drenagem catabática proveniente dos relevos envolventes. A Figura 8 apresenta os perfis transversais de temperatura nos três vales, obtidos a partir dos levantamentos de VANT, permitindo caracterizar simultaneamente a estrutura vertical do lago de ar frio, a sua extensão horizontal e o limite superior da camada de inversão em cada contexto morfológico. Na depressão de Souselas/Fornos, o lago de ar frio estende-se ao longo de toda a depressão. No vale de Eiras, o lago prolonga-se preferencialmente para sul, onde o relevo da vertente é irregular e pouco elevado, ao passo que a vertente de Logo de Deus, a norte, apresenta os contrastes térmicos mais acentuados. No vale de Coselhas, o lago de ar frio surge visivelmente confinado, reflexo do seu carácter estreito e encaixado. Importa, contudo, reiterar que a comparação direta entre os três painéis deve ser feita com cautela, dado que as campanhas foram realizadas em datas e condições atmosféricas algo distintas (Cordeiro, 2025; Cordeiro et al., 2023, 2026).

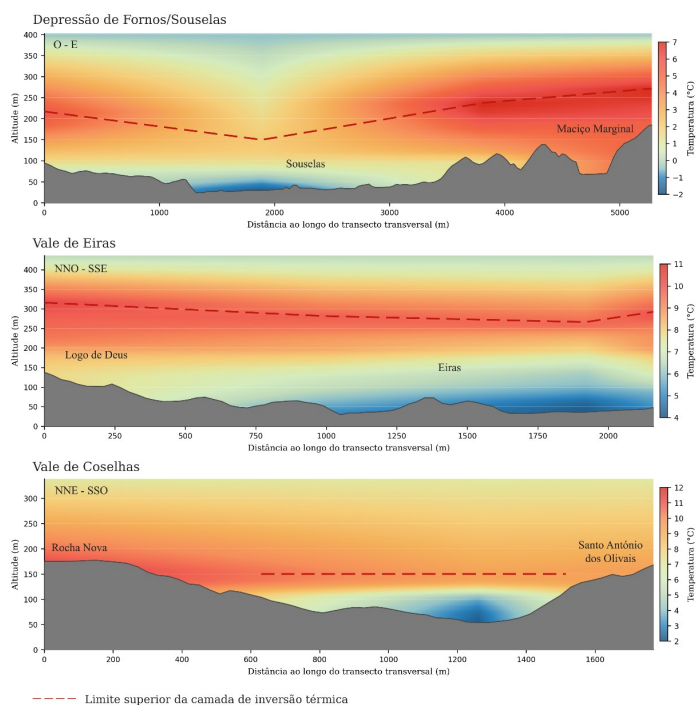


Figura 8. Distribuição da temperatura à superfície e em altitude nos três vales do setor norte de Coimbra, obtida a partir dos levantamentos de VANT (de cima para baixo: depressão de Fornos/Souselas, vale de Eiras e vale de Coselhas). A linha tracejada a vermelho assinala o limite superior da camada de inversão térmica.

4.5. Regimes de ventos

A análise dos perfis verticais obtidos com VANT permitiu caracterizar os regimes de vento nos três vales durante os períodos de formação dos lagos de ar frio, constituindo um dos elementos mais reveladores do desacoplamento entre a camada atmosférica aprisionada no interior do vale e a atmosfera livre acima da inversão.

Durante os períodos de formação e maturação dos lagos de ar frio, os ventos à superfície nos fundos dos vales apresentaram velocidades extremamente baixas, frequentemente inferiores a 2 km/h. No vale de Coselhas, as velocidades registadas abaixo das cumeadas (120–140 m) situaram-se entre 0 e 10 km/h, com direções algo erráticas nos setores centrais e uma ligeira componente de Sul nos setores mais a jusante, e de Este (0–4 km/h) nos setores a montante, denunciando a chegada do ar drenado pelas encostas (Cordeiro et al., 2023). Na depressão de Souselas, as velocidades no interior da bacia raramente excederam os 5–6 km/h, com os perfis centrais a registar valores entre 0 e 2 km/h; a direção predominante nos primeiros 30–60 m foi de Sul, com exceções de noroeste e nordeste em alguns perfis, enquanto acima dos 100 m os ventos passaram a ser consistentemente de Este, atingindo 13–15 km/h nos setores periféricos e ultrapassando os 20 km/h nas vertentes do Maciço Marginal (Cordeiro, 2025). No vale de Eiras, os ventos no núcleo central nunca ultrapassaram os 7 km/h desde a superfície até ao topo da inversão (275 m), com velocidades entre 0 e 2 km/h nos setores de menor altitude, e direção dominante de Este, consistente com a orientação do vale e com o regime sinóptico anticiclónico (Cordeiro et al., 2026).

Nos perfis verticais, verificou-se que acima da camada de inversão a velocidade do vento aumentava substancialmente, podendo atingir valores de 7 a 11 km/h. A inversão atua como barreira, impedindo a mistura vertical e a penetração desta ventilação para o interior dos lagos de ar frio. Esta ausência de movimento de ar no interior dos vales é simultaneamente uma causa, decorrente da proteção exercida pelo relevo circundante, e um forte indicador da presença do fenómeno: ventos mais fortes introduziriam turbulência mecânica que destruiria progressivamente a estratificação, enquanto a estagnação permite que o arrefecimento radiativo e a drenagem catabática continuem a reforçar o lago ao longo de toda a noite sem interferência (Cordeiro et al., 2026).

4.6. Síntese comparativa e papel da morfologia e do uso do solo

A análise comparativa demonstra que os lagos de ar frio no setor norte de Coimbra constituem um sistema topoclimático coerente, cuja variabilidade interna resulta da interação entre fatores geomorfológicos e antrópicos. Apesar das diferenças observadas, os três vales partilham um mecanismo comum de funcionamento, dominado pelo arrefecimento radiativo noturno e pela drenagem catabática. A expressão espacial deste mecanismo é, no entanto, fortemente condicionada pela geometria do vale e pelo grau de artificialização do território, o que se traduz em níveis diferenciados de intensidade térmica, persistência da inversão e vulnerabilidade ambiental.

O uso do solo introduz uma modulação adicional dos processos térmicos em cada vale. Em Coselhas, a forte artificialização e a presença de uma ilha de calor urbana

no sector das cumeadas dos cinturões térmicos condicionam o arrefecimento noturno e os gradientes térmicos locais. Em Eiras, o carácter periurbano em transformação traduz-se numa coexistência de superfícies impermeáveis e áreas vegetadas, com implicações na variabilidade térmica local. Em Souselas/Fornos, o contexto rural-industrial favorece a expressão do fenómeno com menor interferência urbana, mas com implicações relevantes ao nível da acumulação de poluentes atmosféricos durante os episódios de inversão.

Esta diversidade de comportamentos reforça a necessidade de uma abordagem territorial diferenciada na análise e gestão dos fenómenos topoclimáticos, particularmente em contextos urbanos e periurbanos onde os impactos sobre a população e as atividades económicas são mais significativos.

5. Discussão: implicações topoclimáticas, ambientais e territoriais dos lagos de ar frio em contexto urbano e periurbano

Os resultados obtidos parecem reforçar a ideia de que os lagos de ar frio no setor norte de Coimbra constituem um fenómeno topoclimático recorrente e estrutural, cuja expressão espacial resulta de uma forte dependência da morfologia do relevo, mas também da crescente interferência antrópica associada à urbanização. Esta dualidade, entre controlo geomorfológico e modulação humana, coloca estes sistemas no cruzamento entre climatologia física e geografia do território, exigindo uma abordagem integrada.

5.1. Lagos de ar frio como sistemas topoclimáticos estruturados

A consistência dos padrões observados nos três vales reforça a ideia de que os lagos de ar frio devem ser entendidos como sistemas topoclimáticos organizados, e não como fenómenos episódicos ou locais. Tal como evidenciado em estudos internacionais, a formação destes sistemas resulta da combinação entre arrefecimento radiativo da superfície e drenagem catabática, processos que operam de forma particularmente eficiente em contextos de forte estabilidade atmosférica e reduzida ventilação.

Os resultados mostram, contudo, que a simples presença de uma depressão topográfica não é condição suficiente para explicar a variabilidade observada em cada vale. A altura da superfície de inversão, a intensidade térmica e a persistência do fenómeno parecem depender de uma configuração mais complexa, que integra a geometria tridimensional do vale, a relação com o relevo envolvente e a capacidade de isolamento face à circulação atmosférica regional. Esta leitura está em linha com abordagens recentes que enfatizam o papel da topografia enquanto fator determinante na organização da camada limite estável, influenciando diretamente a formação, espessura e estabilidade dos lagos de ar frio (Clements et al., 2003; Rauchöcker et al., 2024; Vosper et al., 2013).

5.2. Variabilidade intraurbana e complexidade térmica

Um dos aspetos mais relevantes evidenciados pelo caso de estudo é a forte variabilidade térmica intraurbana, mesmo em áreas geograficamente próximas. A coe-

xistência de três sistemas com comportamentos distintos, urbano consolidado, peri-urbano e rural-industrial, demonstra que o território do município não constitui um sistema climático homogêneo, mas antes um mosaico de unidades topoclimáticas diferenciadas (Oke et al., 2017; Stewart & Oke, 2012).

Neste contexto, o vale de Coselhas assume particular interesse, ao evidenciar uma possível interação entre dois processos térmicos de sentido oposto: a acumulação de ar frio induzida pela topografia e o aquecimento associado à ilha de calor urbana, bem documentada neste vale em estudos anteriores (Ganho, 1998; Marques et al., 2007).

5.3. Estabilidade atmosférica e qualidade do ar

A persistência das inversões térmicas nos vales tem implicações diretas na dispersão de poluentes atmosféricos, constituindo um dos aspetos mais críticos do fenómeno em contexto urbano e periurbano. Nos sistemas mais confinados e menos ventilados a acumulação de ar frio traduz-se numa forte limitação da mistura vertical, favorecendo a concentração de poluentes nas camadas próximas da superfície. Este efeito é particularmente relevante em contextos onde coexistem fontes emissoras significativas, como unidades industriais ou tráfego rodoviário intenso, podendo gerar situações de degradação da qualidade do ar com impacto direto na saúde pública (Anquetin et al., 1999; Baker et al., 2011; Largeron & Staquet, 2016).

Em Souselas/Fornos, esta relação assume particular relevância: a camada de inversão térmica, situada entre 100 e 125 m de altitude, posiciona-se acima do ponto de emissão da unidade industrial de produção de cimento instalada na depressão. Esta configuração, associada às reduzidas velocidades do vento no interior da bacia, inferiores a 2 km/h na maior parte dos perfis analisados (Cordeiro, 2025), sugere condições desfavoráveis à dispersão vertical de poluentes durante os episódios de lago de ar frio, com potenciais implicações para a qualidade do ar e a saúde respiratória das populações residentes. Importa sublinhar que esta relação decorre de um raciocínio baseado na estrutura térmica vertical observada, e não de medições diretas de concentração de poluentes, que não foram efetuadas em nenhum dos três estudos de base.

Mesmo em contextos menos industrializados, como Eiras ou Coselhas, a retenção de poluentes associada às inversões térmicas pode afetar populações vulneráveis, nomeadamente em episódios de frio intenso, nevoeiro ou estagnação atmosférica prolongada. Estas conclusões estão em consonância com a literatura internacional, que identifica os lagos de ar frio como ambientes propícios à acumulação de poluentes e à formação de condições atmosféricas adversas, sobretudo em períodos de inverno anticiclónico (Lareau et al., 2013; Nidzgorska-Lencewicz & Czarnecka, 2020; Yavuz, 2025).

5.4. Lagos de ar frio, conforto térmico e risco ambiental

Para além das implicações na qualidade do ar, os lagos de ar frio influenciam diretamente o conforto bioclimático das populações, contribuindo para a intensificação de condições de frio extremo à escala local. Nos fundos de vale, onde o ar

frio se acumula, podem ocorrer diferenças térmicas significativas relativamente às áreas envolventes, expondo os residentes a níveis acrescidos de desconforto térmico (Yoshino, 1984). Este fenómeno assume particular relevância em contextos urbanos densamente habitados, como Coselhas, onde a presença de equipamentos sensíveis, hospitalares e escolares, aumenta a exposição de populações vulneráveis. A ocorrência frequente de nevoeiro, geada e gelo em fundos de vale reforça ainda os riscos associados à mobilidade e à segurança (Price et al., 2011).

5.5. Implicações para o planeamento e gestão territorial

Os resultados obtidos reforçam a necessidade de integrar a dimensão topoclimática nos instrumentos de planeamento territorial, particularmente em áreas urbanas e periurbanas sujeitas a forte pressão urbanística. A identificação de zonas propensas à acumulação de ar frio permite delimitar áreas de maior vulnerabilidade climática e ambiental, onde a localização de novos usos do solo deve ser cuidadosamente ponderada. Em particular, os fundos de vale sujeitos a inversões térmicas frequentes devem ser considerados áreas sensíveis para a instalação de equipamentos críticos, o desenvolvimento de novas áreas residenciais de elevada densidade e a localização de atividades emissoras de poluentes.

A preservação de corredores de ventilação e a manutenção de áreas verdes nos setores topograficamente mais favoráveis podem contribuir para melhorar a circulação do ar e reduzir a estagnação atmosférica, constituindo medidas de adaptação com relevância crescente no contexto das alterações climáticas (Oke et al., 2017). A escala local revela-se, neste contexto, fundamental: pequenas variações na morfologia ou no uso do solo podem traduzir-se em diferenças significativas no funcionamento climático, o que exige abordagens de planeamento mais finas e territorialmente diferenciadas.

5.6. Limitações e perspetivas de investigação futura

Apesar da consistência dos resultados, importa reconhecer algumas limitações associadas à natureza dos dados utilizados, nomeadamente a heterogeneidade dos períodos de medição e dos objetivos específicos dos estudos de base. Embora esta diversidade permita uma leitura mais abrangente do fenómeno, introduz também desafios ao nível da comparabilidade direta entre os diferentes sistemas, limitação que foi explicitamente reconhecida ao longo deste artigo. Futuras investigações poderão beneficiar da implementação de redes de monitorização contínua e integrada, que permitam acompanhar a evolução dos lagos de ar frio em diferentes condições atmosféricas e ao longo de ciclos sazonais completos. A integração de dados empíricos com modelação numérica de alta resolução constitui igualmente uma via promissora para aprofundar a compreensão dos mecanismos envolvidos, bem como para desenvolver uma análise sistemática de vulnerabilidade e risco que quantifique a exposição das populações residentes em função da frequência e intensidade dos episódios de lago de ar frio.

6. Conclusão

O presente estudo permitiu demonstrar que os lagos de ar frio no setor norte de Coimbra constituem um fenómeno topoclimático estruturante, recorrente sob condições anticiclónicas de inverno, e fortemente condicionado pela interação entre morfologia do relevo, dinâmica atmosférica e organização do território. A análise comparativa dos vales de Coselhas, Eiras e Souselas/Fornos evidenciou que, apesar da proximidade geográfica, estes sistemas apresentam comportamentos diferenciados, refletindo a influência combinada de fatores físicos e antrópicos. Os resultados confirmam que a formação dos lagos de ar frio parece assentar em mecanismos consistentes (arrefecimento radiativo e drenagem catabática), cuja expressão varia em função da geometria dos vales e do grau de confinamento topográfico. A altura da inversão térmica, a intensidade dos gradientes térmicos e a persistência do fenómeno revelam diferenças significativas entre os três contextos analisados, destacando-se o vale de Eiras pela maior espessura do lago de ar frio e a depressão de Souselas/-Fornos pela elevada intensidade térmica e forte capacidade de retenção de ar frio. A análise evidenciou igualmente que o uso do solo e o grau de artificialização introduzem uma modulação relevante destes processos. Em contextos urbanos consolidados, como Coselhas, a presença de uma ilha de calor urbana introduz uma complexidade adicional nos padrões térmicos locais, condicionando a expressão espacial do lago de ar frio. Em áreas periurbanas e rurais, a menor interferência antrópica permite uma expressão mais nítida dos mecanismos topoclimáticos, embora com implicações acrescidas ao nível da acumulação de poluentes e da qualidade do ar.

Neste sentido, os lagos de ar frio assumem uma dupla dimensão no contexto urbano e periurbano: por um lado, constituem sistemas naturais de organização térmica do território, geradores de microclimas diferenciados; por outro, configuram áreas de vulnerabilidade ambiental, associadas à persistência de inversões térmicas, à estagnação atmosférica e à concentração de poluentes nas camadas inferiores da atmosfera. Estas condições podem traduzir-se em impactos diretos no conforto térmico, na saúde pública e na segurança, particularmente em zonas densamente habitadas ou com presença de equipamentos sensíveis. Os resultados obtidos reforçam, assim, a necessidade de integrar a dimensão topoclimática nos instrumentos de planeamento e gestão territorial. A identificação de áreas propensas à acumulação de ar frio deve constituir um elemento de suporte à tomada de decisão, nomeadamente na localização de novos usos do solo, na definição de estratégias de mitigação de riscos climáticos e na promoção de soluções baseadas na natureza que favoreçam a ventilação e a qualidade ambiental.

Do ponto de vista científico, este trabalho contribui para uma leitura integrada dos lagos de ar frio em contexto urbano e periurbano, ultrapassando abordagens fragmentadas e evidenciando a importância de considerar estes fenómenos no quadro mais amplo da climatologia urbana. A diversidade de comportamentos identificada no setor norte de Coimbra demonstra que pequenas variações morfológicas e funcionais podem traduzir-se em diferenças significativas no funcionamento climático local, reforçando a necessidade de análises à escala fina.

Por fim, importa sublinhar que a heterogeneidade metodológica dos estudos de base constitui simultaneamente uma limitação e uma oportunidade: se, por um lado, condiciona a comparabilidade direta de alguns resultados, por outro, permite uma abordagem mais abrangente do fenómeno, integrando diferentes escalas temporais e estratégias de observação. Futuras investigações deverão apostar na monitorização contínua e integrada destes sistemas, bem como na articulação com modelos numéricos de alta resolução, de modo a aprofundar a compreensão dos processos envolvidos e a apoiar de forma mais robusta a sua aplicação ao planeamento territorial.

Bibliografia

- Alcoforado, M. J., Andrade, E., Neves, M., & Vieira, G. (1993). Climas locais da Arrábida no Inverno. *Finisterra*, 28(55/56), 215–228. <https://doi.org/10.18055/Finis1870>
- Anquetin, S., Guilbaud, C., & Chollet, J.-P. (1999). Thermal valley inversion impact on the dispersion of a passive pollutant in a complex mountainous area. *Atmospheric Environment*, 33(24), 3953–3959. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00137-5](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00137-5)
- Bacer, S., Beaumet, J., Ménégos, M., Gallée, H., Le Bouëdec, E., & Staquet, C. (2024). Impact of climate change on persistent cold-air pools in an alpine valley during the 21st century. *Weather and Climate Dynamics*, 5(1), 211–229. <https://doi.org/10.5194/wcd-5-211-2024>
- Baker, K. R., Simon, H., & Kelly, J. T. (2011). Challenges to Modeling “Cold Pool” Meteorology Associated with High Pollution Episodes. *Environmental Science & Technology*, 45(17), 7118–7119. <https://doi.org/10.1021/es202705v>
- Bodine, D., Klein, P. M., Arms, S. C., & Shapiro, A. (2009). Variability of Surface Air Temperature over Gently Sloped Terrain. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48(6), 1117–1141. <https://doi.org/10.1175/2009JAMC1933.1>
- Burns, P., & Chemel, C. (2014). Evolution of Cold-Air-Pooling Processes in Complex Terrain. *Boundary-Layer Meteorology*, 150(3), 423–447. <https://doi.org/10.1007/s10546-013-9885-z>
- Burns, P., & Chemel, C. (2015). Interactions Between Downslope Flows and a Developing Cold-Air Pool. *Boundary-Layer Meteorology*, 154, 57–80. <https://doi.org/10.1007/s10546-014-9958-7>
- Clements, C. B., Whiteman, C. D., & Horel, J. D. (2003). Cold-Air-Pool Structure and Evolution in a Mountain Basin: Peter Sinks, Utah. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 42, 752–768. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2003\)042<0752:CSAEIA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2003)042<0752:CSAEIA>2.0.CO;2)
- Comber, A., & Zeng, W. (2019). Spatial interpolation using areal features: A review of methods and opportunities using new forms of data with coded illustrations. *Geography Compass*, 13(10), e12465. <https://doi.org/10.1111/gec3.12465>
- Cordeiro, A. M. (2025). Formation and Dynamics of Night-Time Cold Air Pools in Peri-Urban Topographic Basins: A Case Study of Coimbra, Portugal. *Meteorology*, 4(1), 4. <https://doi.org/10.3390/meteorology4010004>
- Cordeiro, A. M., Lucas, A., & Lameiras, J. M. (2026). Topographic Influence on Cold-Air Pool Formation: A Case Study of the Eiras Valley (Coimbra, Portugal). *Atmosphere*, 17(2). <https://doi.org/10.3390/atmos17020165>
- Cordeiro, A. M., Ornelas, A., & Silva, D. D. (2023). The importance of topography in the formation of cold-air pooling in urban spaces. The example of the city of

- Coimbra (Portugal). *Theoretical and Applied Climatology*, 152(1), 227–239. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04401-8>
- Cunha, L., Soares, A., Tavares, A., & Marques, J. (1999). O «julgamento» geomorfológico de Coimbra: O testemunho dos depósitos quaternários. *Cadernos de Geografia*, 15–26. https://doi.org/10.14195/0871-1623_99_3
- Daveau, S. (Ed.). (1985). *Mapas climáticos de Portugal*. Centro de Estudos Geográficos.
- Ferreira, D. B. (2005). O Ambiente Climático. Em C. A. Medeiros (Ed.), *Geografia de Portugal, vol. 1: Ambiente Físico* (p. 495). Círculo de Leitores.
- Ganho, N. (1999). Clima urbano e a climatologia urbana: Fundamentos e aplicação ao ordenamento urbano. *Cadernos de Geografia*, 18. https://doi.org/10.14195/0871-1623_18_6
- Ganho, N. (1998). *O clima urbano de Coimbra: Estudo de climatologia local aplicada ao ordenamento urbano* [tese de dout., Universidade de Coimbra]. <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/618>
- Gribov, A., & Krivoruchko, K. (2020). Empirical Bayesian kriging implementation and usage. *Science of The Total Environment*, 722, 137290. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137290>
- Lareau, N. P., Crosman, E., Whiteman, C. D., Horel, J. D., Hoch, S. W., Brown, W. O. J., & Horst, T. W. (2013). The Persistent Cold-Air Pool Study. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94, 51–63. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00255.1>
- Largerion, Y., & Staquet, C. (2016). Persistent inversion dynamics and wintertime PM10 air pollution in Alpine valleys. *Atmospheric Environment*, 135, 92–108. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.045>
- Lemoine-Rodríguez, R., Inostroza, L., & Zepp, H. (2022). Intraurban heterogeneity of space-time land surface temperature trends in six climate-diverse cities. *Science of The Total Environment*, 804, 150037. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150037>
- Lopes, A. (1995). Drenagem e acumulação de ar frio em noites de arrefecimento radiativo. Um exemplo no vale de Barcarena (Oeiras). *Finisterra*, 30(59/60). <https://doi.org/10.18055/Finis1820>
- Marques, D., Ganho, N., & Cordeiro, A. (2007). Clima local e ordenamento urbano: O exemplo de Coimbra. *Cadernos de Geografia*, 26/27, 313–323. https://doi.org/10.14195/0871-1623_27_26
- Masson, V., Lemonsu, A., Hidalgo, J., & Voogt, J. (2020). Urban Climates and Climate Change. *Annual Review of Environment and Resources*, 45, 411–444. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012320-083623>
- Mennis, J., & Hultgren, T. (2006). Intelligent Dasymetric Mapping and Its Application to Areal Interpolation. *Cartography and Geographic Information Science*, 33, 179–194. <https://doi.org/10.1559/152304006779077309>
- Mora, C. (2009). Padrões térmicos no alto vale do Zêzere. Condicionantes topográficas e meteorológicas. *Finisterra*, 44(87), 55–69.
- Nidzgorska-Lencewicz, J., & Czarnecka, M. (2020). Thermal Inversion and Particulate Matter Concentration in Wrocław in Winter Season. *Atmosphere*, 11(12), 1351. <https://doi.org/10.3390/atmos11121351>
- Oke, T. (2006). Towards Better Scientific Communication in Urban Climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 84, 179–190. <https://doi.org/10.1007/s00704-005-0153-0>

- Oke, T., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). *Urban Climates*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
- Pastore, M. A., Classen, A. T., D'Amato, A. W., English, M. E., Rand, K., Foster, J. R., & Adair, E. C. (2024). Frequent and strong cold-air pooling drives temperate forest composition. *Ecology and Evolution*, 14(4), e11126. <https://doi.org/10.1002/ece3.11126>
- Pinto, D., Gaspar, P., Ganho, N., & Cordeiro, A. (2008). Poluição atmosférica e clima urbano de Coimbra: Alguns dados preliminares. *Cadernos de Geografia*, 325–332. https://doi.org/10.14195/0871-1623_27_27
- Price, J. D., Vosper, S., Brown, A., Ross, A., Clark, P., Davies, F., Horlacher, V., Claxton, B., McGregor, J. R., Hoare, J. S., Jemmett-Smith, B., & Sheridan, P. (2011). COLPEX: Field and Numerical Studies over a Region of Small Hills. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92, 1636–1650. <https://doi.org/10.1175/2011BAMS3032.1>
- Purvis, B., Mao, Y., & Robinson, D. (2019). Three pillars of sustainability: In search of conceptual origins. *Sustainability Science*, 14. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5>
- Qian, Y., Chakraborty, T., Li, J., Li, D., He, C., Sarangi, C., Chen, F., Yang, X., & Leung, L. (2022). Urbanization Impact on Regional Climate and Extreme Weather: Current Understanding, Uncertainties, and Future Research Directions. *Advances in Atmospheric Sciences*, 39. <https://doi.org/10.1007/s00376-021-1371-9>
- Rasilla, D. F., Martilli, A., Allende, F., & Fernández, F. (2023). Long-term evolution of cold air pools over the Madrid basin. *International Journal of Climatology*, 43(1), 38–56. <https://doi.org/10.1002/joc.7700>
- Rauchöcker, A., Rudolph, A., Stiperski, I., & Lehner, M. (2024). Cold-air pool development in a small Alpine valley. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 150(760), 1243–1266. <https://doi.org/10.1002/qj.4644>
- Rebelo, F. (1999). Condicionismos físico-geográficos na origem e no desenvolvimento da cidade de Coimbra. *Cadernos de Geografia*, 11–13.
- Sanderson, M. G., Teixeira, M., & Graça, A. (2022). Cold-Air Pooling in the Upper Douro Valley: An Observational Study. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 61, 1893–1904. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-21-0263.1>
- Silva, T., Lopes, A., Vasconcelos, J., Chokhachian, A., Wagenfeld, M., & Santucci, D. (2024). Thermal stress and comfort assessment in urban areas using Copernicus Climate Change Service Era 5 reanalysis and collected microclimatic data. *International Journal of Biometeorology*, 68(5), 949–963. <https://doi.org/10.1007/s00484-024-02639-z>
- Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 1879–1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- Tavares, A. O. (1999). *Condicionantes físicas ao planeamento. Análise da susceptibilidade no espaço do Concelho de Coimbra* [tese de dout., Universidade de Coimbra].
- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development* (rel. técn.). United Nations. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- Vosper, S., Hughes, J., Lock, A., Sheridan, P., Ross, A., Jemmett-Smith, B., & Brown, A. (2014). Cold-pool formation in a narrow valley. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 140, 699–714. <https://doi.org/10.1002/qj.2160>
- Vosper, S., Sheridan, P. F., & Brown, A. R. (2013). Characteristics of cold pools observed in narrow valleys and dependence on external conditions. *Quarterly Journal of the*

- Royal Meteorological Society*, 140(679), 715–728. <https://doi.org/10.1002/qj.2159>
- Wang, Z., Zhou, R., & Yu, Y. (2025). The impact of urban morphology on land surface temperature under seasonal and diurnal variations: Marginal and interaction effects. *Building and Environment*, 272, 112673. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112673>
- Whiteman, C. (2000). *Mountain Meteorology: Fundamentals and Applications*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195132717.001.0001>
- Yavuz, V. (2025). Unveiling the impact of temperature inversions on air quality: A comprehensive analysis of polluted and severe polluted days in Istanbul. *Acta Geophysica*, 73(1), 969–986. <https://doi.org/10.1007/s11600-024-01417-0>
- Yoshino, M. M. (1984). Thermal belt and cold air drainage on the mountain slope and cold air lake in the basin at quiet, clear night. *GeoJournal*, 8(3), 235–250. <https://doi.org/10.1007/BF00446473>

Da quantidade de árvores à qualidade climática da sombra: evidências empíricas do coberto arbóreo urbano em Coimbra (Portugal)

From Tree Quantity to the Climatic Quality of Shade: Empirical Evidence from Coimbra (Portugal)

Marina Filipa Maltez Chaves ^{*1}, José Miguel Lameiras ^{**2} e António M. Rochette Cordeiro ^{***3}

¹Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra, 3004-504 Coimbra, Portugal, Centro de Estudos Interdisciplinares (CEIS20), 3000-186 Coimbra, Portugal

²Faculty of Sciences, University of Porto, 4169-007 Porto, Portugal, BIOPOLIS/CIBIO-Research Centre in Biodiversity and Genetic Resources, 4485-661 Vairão, Portugal

³Faculty of Arts and Humanities, University of Coimbra, 3004-504 Coimbra, Portugal, Center for Interdisciplinary Studies (CEIS20), 3000-186 Coimbra, Portugal

Resumo

A eficácia climática do coberto arbóreo urbano depende não apenas da presença de árvores, mas da interação entre a arquitetura da copa, a fenologia das espécies e o contexto urbano em que estas se inserem. Neste contexto, o presente estudo apresenta a primeira sistematização conceptual da distinção entre “sombra quente” e “sombra fresca”, entendidas como categorias analíticas para interpretar o desempenho térmico diferencial da vegetação urbana. A investigação baseia-se em medições *in situ* da temperatura do ar (2022–2024), com dataloggers instalados sob copas de espécies caducifólias e perenifólias, em espaços verdes e áreas mineralizadas, considerando variabilidade sazonal e estratificação térmica vertical (3 m e 6 m). Os resultados mostram que a eficácia climática do coberto arbóreo resulta da interação entre densidade da copa, fenologia, altura de medição e características das superfícies envolventes. Espécies caducifólias com copas densas, como *Quercus robur*, revelam maior capacidade de arrefecimento no verão, embora a perda de folhagem altere o comportamento térmico no inverno. Em contextos fortemente impermeabilizados, a sombra pode não reduzir significativamente a temperatura do ar, devido à acumulação e reemissão de calor pelos materiais urbanos. A distinção entre “sombra quente” e “sombra fresca”, operacionalizada através de diferenças térmicas relativas (ΔT), constitui uma ferramenta analítica útil para interpretar a variabilidade térmica intraurbana. A triangulação entre dados empíricos, estrutura da vegetação e contexto urbano reforça a robustez interpretativa dos processos microclimáticos. Estes resultados têm implicações diretas para o planeamento urbano, sublinhando a necessidade de integrar critérios bioclimáticos na seleção de espécies e na organização da infraestrutura verde, superando abordagens baseadas exclusivamente na quantidade de árvores.

Cadernos de
Geografia

doi: https://doi.org/10.14195/0871-1623_53_5

Recebido a:
7 de maio de 2025
Aprovado a:
2 de julho de 2026

*Email: marinachaves978@gmail.com

**Email: jmlameiras@fc.up.pt

***Email: rochettecordeiro@fl.uc.pt

Palavras-chave: Microclima urbano. Ilha de calor urbana. Coberto arbóreo. Sombra quente. Sombra fresca. Vegetação urbana. Diferenciação térmica.

Abstract

The climatic effectiveness of urban tree cover depends not only on the presence of trees but also on the interaction between canopy architecture, species phenology and the surrounding urban context. Against this background, this study presents a conceptual framework distinguishing "Hot Shade" and "Cool Shade" as analytical categories for interpreting the differential thermal performance of urban tree cover. The research is based on *in situ* air temperature measurements (2022–2024), using data loggers installed beneath the canopies of deciduous and evergreen species in green spaces and mineralised areas, accounting for seasonal variability and vertical thermal stratification (3 m and 6 m). The results show that the climatic effectiveness of tree cover stems from the interaction between canopy density, phenology, measurement height and the characteristics of surrounding surfaces. Deciduous species with dense canopies, such as *Quercus robur*, demonstrate greater cooling capacity during summer, although leaf loss modifies their thermal behaviour in winter. In heavily impervious urban environments, shade may not significantly reduce air temperature because of the accumulation and re-emission of heat by urban materials. The distinction between "Hot Shade" and "Cool Shade", operationalised through relative thermal differences (ΔT), provides an analytical framework for interpreting intra-urban thermal variability. The integration of empirical observations, vegetation structure and urban context strengthens the interpretation of microclimatic processes. These findings have direct implications for urban planning by highlighting the need to integrate bioclimatic criteria into species selection and urban green infrastructure planning, shifting the focus from tree quantity to the climatic quality of shade.

Keywords: Urban microclimate. Urban heat island. Tree canopy. Hot shade. Cool shade. Urban vegetation. Thermal differentiation.

1. Introdução

A urbanização constitui um dos processos territoriais mais marcantes da contemporaneidade, envolvendo profundas transformações na ocupação do solo, na organização funcional das cidades e nos equilíbrios ambientais à escala local e regional. A concentração populacional, a expansão do edificado, a crescente impermeabilização do solo e a intensificação da atividade antrópica têm contribuído para alterar significativamente o clima urbano, tornando as cidades em espaços particularmente vulneráveis ao aumento das temperaturas, à degradação da qualidade do ar e ao agravamento do desconforto bioclimático. Neste contexto, a climatologia urbana tem demonstrado que as transformações impostas pela urbanização não se limitam à morfologia da cidade, refletindo-se também na modificação do balanço energético à superfície, na circulação atmosférica local e na disponibilidade de humidade, com consequências muito concretas para o quotidiano urbano (Oke, 1987; Voogt & Oke, 2003).

Entre os fenómenos mais estudados neste domínio destaca-se a Ilha de Calor Urbana (ICU), entendida como a diferença térmica entre as áreas urbanas e os espaços rurais ou periurbanos envolventes. Esta diferença resulta, em larga medida, da subs-

tituição de superfícies naturais por materiais artificiais com elevada capacidade de absorção e armazenamento de calor, como o asfalto, o betão ou a pedra, bem como da diminuição da cobertura vegetal e da redução dos processos evaporativos (Oke, 1982; Rizwan et al., 2008). A retenção de calor durante o dia e a sua libertação progressiva durante a noite favorecem a manutenção de temperaturas elevadas no espaço urbano, sobretudo em situações de estabilidade atmosférica, fraca ventilação e forte densidade construtiva. Para além das implicações climáticas, a ICU constitui também um problema social e territorial, uma vez que os seus efeitos tendem a incidir de forma desigual sobre diferentes grupos populacionais e diferentes áreas da cidade.

A literatura tem vindo a salientar que os efeitos térmicos da urbanização devem ser analisados numa perspetiva multiescalar. Se, por um lado, a ICU exprime uma lógica de contraste térmico urbano-rural, por outro, à escala intraurbana observam-se fortes diferenciações associadas à morfologia urbana, à orientação das ruas, à densidade edificada, ao tipo de materiais, à presença de água e, de forma particularmente importante, à vegetação (Stewart & Oke, 2012). Assim, o estudo do microclima urbano torna-se central para compreender os processos de produção espacial do conforto e do desconforto térmico, permitindo identificar nichos microclimáticos diferenciados e zonas de maior vulnerabilidade ambiental.

Neste quadro, a vegetação urbana, e em especial o coberto arbóreo, assume um papel decisivo. As árvores influenciam o ambiente térmico urbano através de vários mecanismos complementares. Em primeiro lugar, reduzem a incidência direta da radiação solar sobre o solo, os edifícios e os utilizadores do espaço, diminuindo o aquecimento das superfícies e, por consequência, a libertação posterior de calor sensível. Em segundo lugar, promovem evapotranspiração, dissipando parte da energia disponível sob a forma de calor latente. Em terceiro lugar, interferem com a circulação do ar, a humidade relativa e o balanço radiativo local, podendo criar microambientes mais estáveis e confortáveis (Bowler et al., 2010; Gill et al., 2007).

Todavia, o efeito da vegetação não deve ser entendido de forma simplista ou homogénea. Nem todas as árvores têm o mesmo comportamento térmico, nem toda a sombra produz os mesmos efeitos ambientais. A eficácia microclimática do arbóreo depende de fatores como a espécie, a densidade foliar, a arquitetura da copa, o carácter caducifólio ou perenifólio, a disponibilidade hídrica, a relação com o contexto envolvente e a sazonalidade (Rahman et al., 2018). Uma árvore localizada num espaço verde amplo, com solo permeável e elevada humidade, poderá produzir um ambiente termicamente muito distinto daquele gerado por uma árvore implantada num espaço fortemente mineralizado, rodeado por asfalto e edifícios, mesmo quando ambas fornecem sombra aparente (Cordeiro et al., 2023). Esta constatação conduz à necessidade de distinguir qualitativamente diferentes tipos de sombra em função do seu desempenho térmico real.

É neste ponto que o presente artigo pretende introduzir a diferenciação entre “sombra quente” e “sombra fresca”. A primeira refere-se a situações em que a presença de sombra não é acompanhada de um arrefecimento efetivo do ambiente, em virtude da forte influência do calor armazenado nas superfícies urbanas, da menor eficácia da copa ou da baixa capacidade evaporativa do local. A segunda designa

contextos em que a sombra, articulada com evapotranspiração e com condições bio-físicas favoráveis, origina uma efetiva redução da temperatura do ar e das superfícies, contribuindo para a formação de microclimas mais amenos.

A cidade de Coimbra oferece um caso de estudo particularmente pertinente para esta análise. Trata-se de uma cidade de média dimensão, com forte heterogeneidade morfológica, marcada pela coexistência de espaços verdes históricos, áreas densamente urbanizadas, avenidas arborizadas e praças mineralizadas. Esta diversidade espacial permite comparar o comportamento microclimático de espécies arbóreas distintas sob diferentes enquadramentos territoriais, contribuindo para uma leitura mais fina da relação entre estrutura ecológica urbana e conforto térmico.

Assim, o objetivo central deste artigo consiste em analisar a influência de diferentes espécies arbóreas no microclima urbano de Coimbra, procurando compreender de que modo a estrutura da copa, a fenologia e o contexto territorial condicionam a produção de sombra térmica diferenciada. Em termos mais específicos, pretende-se: i) comparar o comportamento térmico de espécies caducifólias e perenifólias; ii) identificar diferenças térmicas entre espaços verdes e espaços urbanos mais mineralizados; iii) analisar a estratificação térmica vertical no interior da copa; e iv) discutir a utilidade da distinção entre “sombra quente” e “sombra fresca” para o planeamento urbano e a climatologia aplicada.

O presente artigo constitui uma primeira aproximação conceptual à diferenciação entre “sombra quente” e “sombra fresca”, entendidas não apenas como descrições qualitativas de ambientes sombreados, mas como categorias analíticas destinadas a interpretar o comportamento térmico diferencial do coberto arbóreo em contexto urbano. Mais do que propor uma nova terminologia, pretende-se demonstrar que a eficácia climática da sombra depende da interação entre a arquitetura da copa, a fenologia das espécies e o contexto morfológico no qual estas se inserem. Nesta perspetiva, Coimbra funciona como um laboratório territorial particularmente adequado para explorar esta problemática, permitindo testar empiricamente uma hipótese conceptual que poderá ser posteriormente aprofundada através de abordagens quantitativas mais abrangentes e de diferentes contextos urbanos mediterrânicos. Assim, este trabalho assume-se como o primeiro passo de um programa de investigação mais amplo dedicado à compreensão do papel funcional da vegetação na regulação do microclima urbano e na construção de estratégias de adaptação climática baseadas na infraestrutura verde.

2. Enquadramento teórico

2.1. Clima urbano, urbanização e produção de contrastes térmicos

O estudo do clima urbano consolidou-se como um domínio central da Geografia Física e da climatologia aplicada, demonstrando que a cidade não constitui apenas um suporte construído das atividades humanas, mas também um sistema atmosférico local com dinâmicas próprias (Oke, 1987). A urbanização altera os fluxos de energia, água e massa, interfere com a rugosidade superficial, modifica a refletância e a capacidade térmica dos materiais e condiciona os movimentos do ar. Em consequência,

os parâmetros meteorológicos observados nas cidades apresentam frequentemente comportamentos distintos dos registados em áreas rurais ou pouco artificializadas.

A ICU constitui uma das expressões mais visíveis deste processo. A sua génese está associada à combinação entre a absorção acrescida de radiação solar pelas superfícies urbanas, a redução da evapotranspiração, o aumento do calor antrópico e o bloqueio radiativo induzido pela geometria urbana (Oke, 1982; Voogt & Oke, 2003). Em tecidos urbanos densos, os chamados canhões urbanos dificultam a perda radiativa noturna, favorecendo a manutenção de temperaturas elevadas durante a noite. Por seu turno, durante o dia, a baixa presença de sombra e a acumulação de calor nas superfícies podem acentuar o stress térmico, sobretudo em períodos de onda de calor.

Contudo, a cidade não deve ser entendida como uma unidade térmica homogénea. Pelo contrário, a estrutura urbana gera contrastes intraurbanos muito expressivos. A temperatura do ar e das superfícies varia significativamente entre praças mineralizadas, parques urbanos, ruas arborizadas, taludes, espaços ribeirinhos e áreas residenciais com diferentes densidades de construção. A compreensão destas variações exige uma abordagem microclimática, sensível às especificidades do lugar e às interações entre fatores morfológicos, biofísicos e atmosféricos (Stewart & Oke, 2012).

2.2. Vegetação urbana e regulação bioclimática

Entre os fatores que mais contribuem para a diferenciação microclimática intraurbana, a vegetação assume um lugar central. A sua importância não decorre apenas do valor paisagístico ou ecológico, mas sobretudo da capacidade de alterar diretamente as trocas de energia e água entre a superfície e a atmosfera. O papel da vegetação na mitigação do calor urbano encontra-se amplamente reconhecido em estudos experimentais, observacionais e de modelação, que mostram reduções térmicas significativas em espaços verdes quando comparados com áreas construídas ou fortemente impermeabilizadas (Bowler et al., 2010; Shashua-Bar et al., 2009).

Os principais mecanismos através dos quais a vegetação interfere com o microclima são o sombreamento e a evapotranspiração. O sombreamento reduz a radiação solar direta incidente sobre o solo e sobre os elementos construídos, limitando o aquecimento das superfícies e diminuindo a quantidade de energia disponível para aquecer o ar envolvente. A evapotranspiração, por sua vez, converte parte da energia recebida em calor latente, contribuindo para o arrefecimento do ar local e para o aumento da humidade relativa (Gill et al., 2007).

A vegetação arbórea destaca-se particularmente por combinar estes dois mecanismos com um terceiro elemento: a criação de um volume tridimensional de mediação climática. A copa das árvores regula a penetração da radiação, cria gradientes verticais de temperatura, filtra o vento e produz nichos microclimáticos específicos no seu interior e na sua vizinhança imediata. É por isso que o estudo do arbóreo urbano não deve limitar-se à presença ou ausência de árvores, mas considerar a forma, densidade e estrutura funcional da copa.

2.3. Espécies arbóreas, fenologia e desempenho térmico

O comportamento térmico das árvores varia significativamente entre espécies. As diferenças de arquitetura da copa, densidade foliar, dimensão das folhas, textura, espessura e fenologia produzem efeitos diferenciados sobre a quantidade de radiação bloqueada, a circulação do ar e a capacidade evapotranspirativa (Rahman et al., 2018; Leuzinger et al., 2010). As espécies caducifólias, por exemplo, tendem a oferecer forte proteção solar no verão, quando a copa se encontra plenamente desenvolvida, mas permitem maior entrada de radiação no inverno, quando perdem a folhagem. Este comportamento pode tornar-se extremamente vantajoso em climas de acentuada sazonalidade (Quadro 1).

As espécies perenifólias, por seu turno, mantêm cobertura ao longo de todo o ano, podendo proporcionar uma proteção radiativa mais estável. No entanto, o seu efeito térmico depende fortemente da densidade da copa, da orientação dos ramos, da espessura do coberto e da permeabilidade ao vento. Assim, uma espécie perenifólia de copa estreita ou pouco densa pode ser menos eficaz no verão do que uma caducifólia de copa ampla e densa.

Quadro 1. Características funcionais das principais espécies analisadas e implicações microclimáticas

Espécie	Tipo foliar	Arquitetura da copa	Densidade foliar (LAI*)	Fenologia	Capacidade de sombreamento	Potencial de evapotranspiração	Permeabilidade ao vento	Desempenho térmico esperado	Tipo de sombra dominante
<i>Quercus robur</i>	Caducifólia	Copa ampla, arredondada, expansiva	Elevada	Perda foliar no inverno	Muito elevada no verão	Elevado (alta área foliar)	Média	Forte redução térmica no verão; aquecimento moderado no inverno	Sombra fresca (verão)
<i>Tilia europaea</i>	Caducifólia	Copa densa, estratificada verticalmente	Elevada a muito elevada	Caducifólia	Elevada	Elevado (transpiração ativa)	Baixa a média	Elevada modulação térmica; forte estratificação vertical	Sombra fresca (verão)
<i>Platanus × hispanica</i>	Caducifólia	Copa ampla, irregular, adaptada a meio urbano	Média a elevada	Caducifólia	Elevada	Moderado a elevado	Média	Boa capacidade de sombreamento, dependente do contexto urbano	Sombra intermédia / fresca
<i>Cupressus sempervirens</i>	Perenifólia	Copa estreita, colunar	Baixa a média	Persistente	Reduzida (sombra descontínua)	Baixo a moderado	Elevada	Baixa eficácia de arrefecimento; limitada modulação térmica	Sombra quente

Para além da espécie, importa considerar o contexto de implantação. Uma mesma árvore não produz necessariamente o mesmo efeito térmico em dois lugares distintos. A natureza do solo, a presença de relvado ou pavimento, a proximidade de edifícios, a refletância dos materiais envolventes, a exposição solar e a ventilação local condicionam o microclima gerado.

2.4. Sombra quente e sombra fresca como proposta analítica

A noção de sombra é frequentemente utilizada no discurso urbanístico e ambiental como sinónimo de conforto térmico. Todavia, do ponto de vista microclimático, esta associação não é automática. A simples presença de sombra não garante necessariamente temperaturas do ar mais baixas nem conforto térmico efetivo. Em espaços fortemente mineralizados, com superfícies aquecidas e baixa disponibilidade hídrica, a sombra pode atenuar a radiação direta, mas manter um ambiente relativamente quente devido à reemissão térmica do solo e dos materiais envolventes.

Com base nesta distinção, propõe-se neste artigo o uso das expressões “sombra quente” e “sombra fresca” como categorias analíticas operatórias. A “sombra quente” corresponde a situações em que a redução da radiação solar direta não se traduz plenamente em arrefecimento do ambiente, devido ao predomínio do calor sensível armazenado e reemitido pelas superfícies urbanas, à menor densidade da copa ou à debilidade dos processos evaporativos. A “sombra fresca”, pelo contrário, corresponde a uma situação em que o efeito de bloqueio radiativo é acompanhado por evapotranspiração eficaz, menor aquecimento superficial e maior moderação térmica do ar.

Esta proposta não pretende substituir indicadores biometeorológicos clássicos, como PET ou UTCI, mas antes oferecer uma chave de leitura simples e geograficamente útil para interpretar contrastes térmicos observados sob diferentes árvores.

2.5. Implicações para o planeamento urbano

A crescente frequência de episódios de calor extremo tem tornado evidente que o desenho urbano não pode ignorar a dimensão climática. Neste sentido, a integração estratégica da vegetação arbórea constitui uma medida de adaptação com elevada relevância territorial, mas a sua eficácia depende da qualidade da implantação e da adequação das espécies selecionadas (Quadro 2).

Quadro 2. Implicações do coberto arbóreo no planeamento urbano bioclimático

Dimensão de planeamento	Variável considerada	Estratégia recomendada	Fundamentação microclimática	Impacto térmico esperado
Seleção de espécies	Tipo foliar (caducifólia vs. perenifólia)	Privilegiar espécies caducifólias em zonas de uso intensivo	Permite sombreamento no verão e radiação no inverno	Redução do stress térmico estival e otimização sazonal
	Densidade da copa (LAI)	Selecionar espécies com elevada área foliar	Maior bloqueio da radiação solar e maior evapotranspiração	Diminuição da temperatura do ar e das superfícies
	Arquitetura da copa	Favorecer copas amplas e contínuas	Aumenta área de sombra efetiva ao nível pedonal	Criação de “sombra fresca”
	Taxa de evapotranspiração	Integrar espécies com elevada atividade fisiológica	Dissipação de energia sob forma de calor latente	Arrefecimento do microclima

Continua na página seguinte

Quadro 2 – continuação

Dimensão de planeamento	Variável considerada	Estratégia recomendada	Fundamentação microclimática	Impacto térmico esperado
Implantação espacial	Tipo de superfície envolvente	Integrar árvores em solos permeáveis ou semipermeáveis	Aumenta disponibilidade hídrica e evapotranspiração	Potencia efeito de arrefecimento
	Contexto urbano	Evitar arborização isolada em espaços altamente mineralizados	Reduz efeito de reemissão térmica das superfícies	Minimiza ocorrência de “sombra quente”
	Densidade arbórea	Promover continuidade do coberto arbóreo	Reduz fragmentação térmica e aumenta efeito cumulativo	Arrefecimento mais homogéneo
	Relação com edifícios	Posicionar árvores para sombreamento de fachadas e pavimentos	Reduz ganhos térmicos por radiação	Diminuição da carga térmica urbana
Desenho urbano	Largura das ruas	Ajustar arborização à geometria urbana	Maximiza sombreamento em canhões urbanos	Redução da temperatura do ar e das superfícies
	Orientação das ruas	Priorizar arborização em eixos com maior exposição solar	Aumenta eficácia do sombreamento	Mitigação do aquecimento diurno
	Espaços públicos	Integrar árvores em zonas de permanência (praças, parques)	Melhora conforto térmico ao nível pedonal	Aumento da habitabilidade urbana
Gestão e manutenção	Disponibilidade hídrica	Garantir irrigação adequada em períodos secos	Sustenta evapotranspiração	Mantém eficácia térmica
	Estado fitossanitário	Assegurar manutenção da copa	Evita perda de densidade foliar	Preserva capacidade de sombreamento
	Planeamento a longo prazo	Considerar crescimento da árvore	Ajusta desempenho futuro	Sustentabilidade da infraestrutura verde

A climatologia urbana aplicada ao ordenamento do território tem vindo a defender abordagens mais finas, baseadas no conhecimento empírico do desempenho térmico das espécies e dos contextos espaciais. O presente estudo inscreve-se nesta linha.

2.6. Da quantidade de árvores ao desempenho climático do coberto arbóreo

A literatura internacional tem demonstrado de forma consistente que a presença de vegetação urbana constitui um fator determinante na mitigação das ilhas de calor urbanas. Contudo, a maioria dos estudos continua a privilegiar indicadores quantitativos, como a percentagem de cobertura arbórea, o índice de área foliar ou a dimensão das manchas verdes, assumindo implicitamente que o aumento do coberto vegetal conduz necessariamente a melhores condições microclimáticas. Esta perspetiva, embora fundamental para compreender os processos gerais de arrefecimento urbano, tende a secundarizar a variabilidade funcional existente entre diferentes espécies, diferentes estruturas de copa e diferentes contextos morfológicos.

Neste contexto, torna-se pertinente deslocar parcialmente o foco da investigação da quantidade de vegetação para a qualidade climática da sombra produzida. Esta

mudança de perspectiva permite compreender que duas árvores aparentemente semelhantes podem originar respostas microclimáticas significativamente distintas, em função da interação entre arquitetura da copa, fenologia, disponibilidade hídrica e características térmicas das superfícies envolventes. É precisamente neste enquadramento que se inscreve a proposta conceptual desenvolvida neste artigo.

3. Área de estudo

3.1. Enquadramento geográfico e climático

A cidade de Coimbra localiza-se na região costeira central de Portugal, posicionada numa zona de transição entre a plataforma costeira e os relevos marginais, aproximadamente a 40°12' N e 8°25' W, e inserida no vale do rio Mondego (Figura 1). Do ponto de vista climático, enquadra-se no domínio mediterrânico com influência atlântica (Csa segundo a classificação de Köppen-Geiger), caracterizado por verões quentes e secos e invernos suaves e húmidos (Peel et al., 2007).

A temperatura média anual situa-se entre 15 e 16 °C, sendo frequentes episódios de calor intenso durante o verão, com temperaturas máximas superiores a 35 °C, especialmente em situações de estabilidade atmosférica. Estas condições favorecem o desenvolvimento de contrastes térmicos urbanos e tornam Coimbra um caso relevante para estudos de climatologia urbana (Alcoforado et al., 2008; Ganho, 1998).

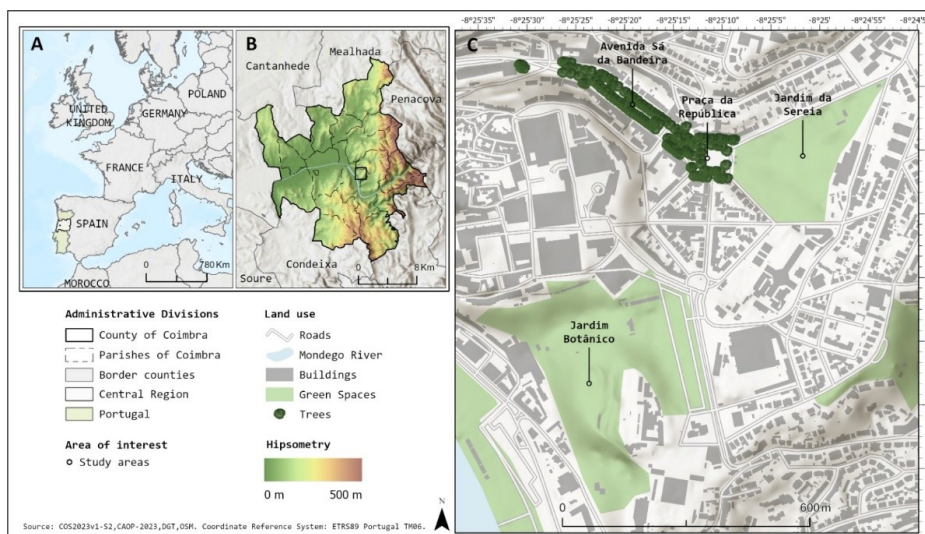


Figura 1. Localização geográfica de Coimbra e enquadramento climático regional.

3.2. Caracterização morfológica e estrutura urbana

A estrutura urbana de Coimbra resulta de um processo histórico de crescimento marcado pela coexistência de diferentes tipologias urbanas, desde o núcleo medieval compacto (Alta e Baixa) até áreas de expansão moderna e espaços verdes estru-

turados (Cordeiro, 2021). Esta diversidade traduz-se numa elevada heterogeneidade morfológica, com implicações diretas no microclima urbano.

As áreas centrais apresentam elevada densidade edificada, ruas estreitas e forte presença de materiais impermeáveis, como o asfalto e o betão, que favorecem a absorção e armazenamento de calor. Este tipo de configuração urbana é frequentemente associado a intensificação do efeito de ilha de calor urbana (Oke, 1987; Stewart & Oke, 2012).

Em contraste, os espaços verdes urbanos, como referem Gill et al. (2007) e Bowler et al. (2010), apresentam maior permeabilidade do solo, presença de vegetação arbórea e condições favoráveis à evapotranspiração, funcionando como áreas de mitigação térmica (Cordeiro et al., 2023).

3.3. Locais de amostragem

Foram selecionados quatro locais representativos da diversidade urbana de Coimbra, permitindo comparar diferentes contextos microclimáticos (Figura 2):

- Jardim da Sereia – espaço verde urbano com elevada densidade arbórea e solos permeáveis, representativo de condições de arrefecimento urbano;
- Jardim Botânico da Universidade de Coimbra – espaço verde estruturado, com elevada diversidade de espécies e presença de árvores de grande porte;
- Praça da República – espaço urbano central, caracterizado por elevada impermeabilização do solo associada a calçada portuguesa e forte exposição solar;
- Avenida Sá da Bandeira – eixo urbano arborizado, com tráfego intenso e forte influência de superfícies artificiais.

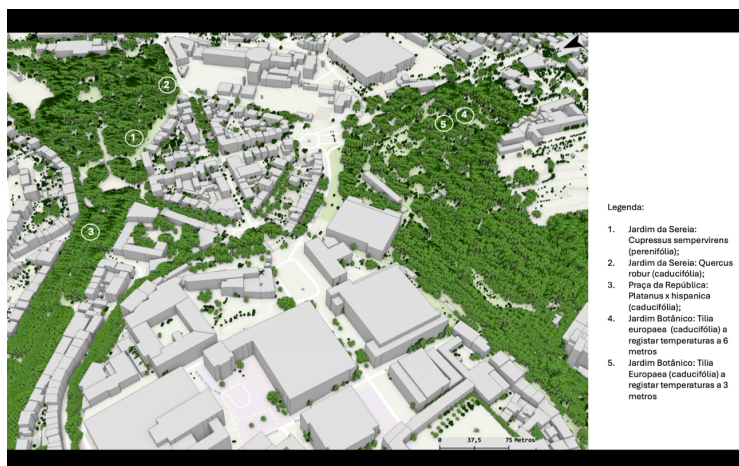


Figura 2. Localização dos pontos de medição nos diferentes contextos urbanos. Representação tridimensional dos tipos de ecossistemas urbanos monitorizados na área central de Coimbra, ilustrando as estruturas de vegetação e a localização dos sensores.

A seleção destes locais segue critérios utilizados em estudos de climatologia urbana, baseados na representatividade dos diferentes *Local Climate Zones* (LCZ) propostos por Stewart e Oke (2012).

3.4. Caracterização das espécies arbóreas

O estudo incidiu sobre espécies representativas do coberto arbóreo urbano de Coimbra, incluindo:

- *Quercus robur* – espécie caducifólia, de copa ampla e densa, com elevada capacidade de sombreamento;
- *Tilia europaea* – espécie caducifólia de grande porte, frequentemente utilizada em espaços verdes urbanos;
- *Platanus × hispanica* – espécie caducifólia comum em ambientes urbanos, adaptada a condições de stress ambiental;
- *Cupressus sempervirens* – espécie perenifólia de copa estreita e vertical.

As diferenças morfológicas e fenológicas entre estas espécies influenciam diretamente o seu desempenho microclimático, nomeadamente ao nível do sombreamento e da evapotranspiração (Rahman et al., 2018; Leuzinger et al., 2010).

As espécies arbóreas desempenham funções microclimáticas fundamentais através do sombreamento, da evapotranspiração e da modulação do vento. Estes mecanismos contribuem para a redução da temperatura do ar e das superfícies envolventes, bem como para a regulação sazonal da radiação solar, particularmente em espécies caducifólias, promovendo assim a melhoria do conforto térmico em meio urbano.

3.5. Justificação da área de estudo

A escolha de Coimbra como área de estudo justifica-se pela combinação de três fatores principais:

1. Diversidade morfológica urbana, permitindo analisar diferentes contextos microclimáticos;
2. Presença significativa de vegetação arbórea, em espaços verdes e em alinhamentos urbanos;
3. Ocorrência de episódios de calor intenso, que tornam relevante o estudo de estratégias de mitigação térmica.

Adicionalmente, Coimbra tem sido objeto de diversos estudos no domínio da climatologia urbana em Portugal, o que permite enquadrar os resultados num contexto científico consolidado.

4. Metodologia

4.1. Desenho de investigação

O presente estudo assenta numa abordagem empírica de natureza observacional, baseada em medições microclimáticas *in situ*, seguindo metodologias amplamente utilizadas na climatologia urbana (Oke, 1987; Stewart & Oke, 2012). Apesar de não integrar todas as variáveis biometeorológicas, a temperatura do ar constitui um indicador robusto para a análise de contrastes térmicos intraurbanos, sendo amplamente utilizada em estudos de climatologia urbana e de ilhas de calor. O desenho de investigação foi estruturado de forma a permitir a comparação entre: (i) diferentes espécies arbóreas (caducifólias e perenifólias); (ii) distintos contextos espaciais (espaço verde vs. espaço urbano mineralizado); e (iii) diferentes níveis verticais no interior da copa.

Este desenho comparativo permite analisar o papel da vegetação na modulação térmica à escala microclimática, em linha com estudos semelhantes (Bowler et al., 2010; Shashua-Bar et al., 2009). Permite, deste modo, isolar o efeito relativo de três dimensões fundamentais: (i) características biofísicas da vegetação; (ii) contexto urbano envolvente; (iii) estrutura tridimensional do coberto arbóreo.

4.2. Instrumentação e variáveis

Foram utilizados *dataloggers* de temperatura do ar com registo automático em intervalos horários, seguindo procedimentos metodológicos comuns em estudos microclimáticos urbanos (Oke, 2004; Voogt & Oke, 2003). Os sensores foram instalados em diferentes locais da cidade, associados a espécies arbóreas representativas (Quadro 3).

Sempre que possível, os sensores foram posicionados sob a copa das árvores, em condições de sombreamento natural, evitando exposição direta à radiação solar. No entanto, foram identificados episódios pontuais de sobreaquecimento dos sensores devido à incidência direta da radiação, fenómeno já descrito na literatura (Nakamura & Oke, 1988).

4.3. Configuração espacial dos sensores

Os sensores foram instalados nos seguintes contextos:

- Jardim Botânico – sensores a 3 m e 6 m numa *Tilia europaea*, permitindo análise da estratificação térmica vertical;
- Jardim da Sereia – sensores sob *Quercus robur* (caducifólia) e *Cupressus sempervirens* (perenifólia);
- Praça da República – sensor associado a *Platanus × hispanica* em contexto urbano mineralizado;

Quadro 3. Caracterização dos pontos de medição (local, espécie, altura, contexto urbano, período de registo)

Local	Espécie	Altura	Contexto Urbano	Período de registo
Jardim Botânico	<i>Tilia europaea</i>	3 metros e 6 metros	Ecossistemas de parque aberto	2022/2023
Jardim da Sereia	<i>Quercus robur</i> (caducifólia)	Subcopa (2 metros)	Ecossistema de parque semiaberto	2022/2024
Jardim da Sereia	<i>Cupressus sempervirens</i> (perenifólia)	Subcopa (2 metros)	Ecossistema de parque semiaberto	2022/2024
Praça da República	<i>Platanus × hispanica</i>	Subcopa (2 metros)	Ecossistema edificado com baixa componente biótica	2023/2024

A instalação a diferentes alturas (3 m e 6 m) permite captar variações térmicas verticais no interior da copa, uma abordagem utilizada em estudos de microclima arbóreo (Rahman et al., 2018).

4.4. Período de recolha de dados

Os dados foram recolhidos entre 2022 e 2024, abrangendo diferentes estações do ano. Foram selecionados, para análise comparativa, períodos representativos de verão (julho e agosto) e inverno (janeiro), permitindo captar extremos térmicos e efeitos fenológicos.

Esta abordagem sazonal é consistente com estudos que analisam a influência da fenologia arbórea no microclima urbano (Gill et al., 2007; Morakinyo et al., 2017).

4.5. Tratamento e validação dos dados

O tratamento dos dados incluiu as etapas de “Controlo de qualidade” – identificação de valores inconsistentes ou anómalos; filtragem de *outliers* – exclusão ou correção de registos associados a exposição direta dos sensores à radiação solar; homogeneização temporal – seleção de períodos comparáveis entre locais.

Nos casos em que se verificou sobreaquecimento pontual dos sensores, foi aplicada uma correção baseada na interpolação temporal (média entre valores adjacentes), assumindo continuidade térmica da série.

Este procedimento, embora simplificado, permite reduzir o impacto de erros instrumentais, sendo uma prática referida em estudos empíricos quando não existem dados redundantes (WMO, 2018).

4.6. Métodos de análise

A análise dos dados foi realizada através de diferentes técnicas complementares:

- *Boxplots* mensais, para caracterização da distribuição térmica (mediana, quartis, extremos);
- Séries temporais diárias, para análise da dinâmica intra-diurna;

- Comparações diferenciais, entre espécies e contextos urbanos.

Foi ainda calculado o gradiente térmico vertical (ΔT), para o Jardim Botânico, definido como: $\Delta T = T(6 \text{ m}) - T(3 \text{ m})$. Para a análise do Jardim da Sereia e da Praça da República, calculou-se a amplitude térmica diária ($T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}}$) para cada área.

Este tipo de análise permite identificar padrões de estratificação térmica, frequentemente associados à radiação solar e à estrutura da copa (Leuzinger et al., 2010).

4.7. Operacionalização do conceito de sombra térmica

Neste estudo, a distinção entre “sombra quente” e “sombra fresca” é operacionalizada através da diferença térmica entre a temperatura registada sob copa arbórea e uma condição de referência exposta ou menos arborizada. Define-se como sombra fresca a situação em que a copa arbórea produz uma redução efetiva da temperatura do ar, expressa por valores positivos de ΔT , calculado como $\Delta T = T_{\text{ref}} - T_{\text{shade}}$. Esta abordagem baseia-se na tradição da climatologia urbana, que utiliza contrastes térmicos entre diferentes superfícies e contextos como forma de identificar e quantificar padrões microclimáticos (Oke, 1987; Stewart & Oke, 2012). Considera-se sombra fresca moderada quando essa redução se situa entre 1,0°C e 2,0°C, e sombra fresca forte quando ultrapassa 2,0°C, valores consistentes com estudos empíricos sobre o efeito de arrefecimento da vegetação urbana (Shashua-Bar et al., 2009; Bowler et al., 2010). Pelo contrário, considera-se sombra quente quando a presença de sombra não se traduz numa redução térmica significativa, ou quando a temperatura sob copa é igual ou superior à da condição de referência, particularmente em contextos urbanos mineralizados e de elevada inércia térmica.

Sempre que existam dados suficientes, esta classificação poderá ser complementada por índices biometeorológicos, como o *Physiological Equivalent Temperature* (PET) ou o *Universal Thermal Climate Index* (UTCI), que integram variáveis como temperatura do ar, radiação, humidade e vento, permitindo uma avaliação mais completa do conforto térmico humano (Matzarakis et al., 1999; Bröde et al., 2012). Nestes casos, a sombra fresca corresponderá a reduções significativas de PET ou UTCI face à condição de referência, refletindo uma diminuição efetiva do stress térmico, enquanto a sombra quente corresponderá a situações em que o sombreamento não reduz substancialmente a carga térmica percebida. Esta abordagem é consistente com estudos recentes que demonstram que a eficácia climática da vegetação urbana depende não apenas da redução da radiação solar direta, mas também da interação com processos evaporativos e com a estrutura térmica do espaço urbano (Gill et al., 2007; Santamouris, 2013).

4.8. Limitações metodológicas

Apesar do rigor do desenho experimental e da consistência dos dados recolhidos, o presente estudo apresenta um conjunto de limitações metodológicas que importa

explicitar, não apenas enquanto constrangimentos, mas também enquanto elementos estruturantes da interpretação dos resultados.

Uma primeira limitação decorre da natureza das variáveis analisadas. O estudo baseia-se exclusivamente em medições da temperatura do ar, não integrando outras variáveis fundamentais para a caracterização completa do microclima urbano, como a radiação solar, a humidade relativa ou a velocidade do vento. Estas variáveis desempenham um papel determinante na definição do conforto térmico humano, nomeadamente através da sua integração em índices biometeorológicos como o PET ou o UTCI. Neste sentido, os resultados apresentados devem ser interpretados como uma análise de diferenciação térmica relativa entre contextos urbanos e tipos de coberto arbóreo, e não como uma avaliação direta do conforto térmico percebido pelos utilizadores do espaço urbano. Ainda assim, a temperatura do ar constitui um indicador robusto e amplamente utilizado na climatologia urbana para a identificação de contrastes térmicos intraurbanos e para a análise do fenómeno de ilha de calor urbana, permitindo uma leitura consistente dos padrões espaciais e temporais observados.

Uma segunda limitação relaciona-se com a ausência de medições diretas de fluxos radiativos e de processos evaporativos. A interpretação do papel da vegetação na modulação térmica, nomeadamente no que se refere aos mecanismos de sombreamento e evapotranspiração, baseia-se em inferências sustentadas na literatura e nos padrões térmicos observados, designadamente na dinâmica intra-diurna e sazonal da temperatura do ar. Embora esta abordagem seja consistente com estudos empíricos em climatologia urbana, implica que os mecanismos físicos subjacentes aos padrões identificados não sejam diretamente quantificados, devendo ser interpretados como processos explicativos plausíveis, e não como relações causalmente demonstradas no contexto específico deste estudo.

Adicionalmente, importa considerar o papel potencial da ventilação local, variável que não foi medida diretamente, mas que poderá influenciar significativamente os padrões térmicos observados. Em particular, diferenças na configuração morfológica dos espaços urbanos — como a abertura do espaço, a presença de obstáculos à circulação do ar ou a geometria urbana — poderão contribuir para variações na dissipação de calor, afetando a comparação entre locais com diferentes características. Neste sentido, a ventilação deve ser entendida como uma variável latente na interpretação dos resultados, cuja influência não pode ser isolada no âmbito do presente desenho experimental.

Outra limitação prende-se com a heterogeneidade espacial e funcional dos locais de amostragem. Embora a seleção dos pontos de medição tenha seguido critérios de representatividade de diferentes contextos urbanos, as diferenças inerentes à morfologia urbana, à natureza das superfícies envolventes e à organização do espaço dificultam a comparação direta entre locais, introduzindo um grau de variabilidade que não pode ser totalmente controlado. Esta condição é, no entanto, intrínseca aos estudos de climatologia urbana *in situ*, onde a complexidade do sistema urbano constitui simultaneamente um desafio metodológico e um elemento central de análise.

No que respeita à qualidade dos dados, registaram-se episódios pontuais de sobre-aquecimento dos sensores, associados à exposição direta à radiação solar, fenómeno amplamente documentado na literatura. Nestes casos, foi aplicada uma correção conservadora baseada na interpolação temporal entre valores adjacentes, procedimento recomendado em situações de ausência de dados redundantes. Embora esta abordagem permita mitigar o impacto de erros instrumentais, introduz um nível adicional de incerteza, que, contudo, não compromete os padrões térmicos globais identificados.

Por fim, importa sublinhar que o presente estudo se inscreve numa abordagem observacional, centrada na análise de padrões empíricos em contexto real, o que implica a impossibilidade de controlo total das variáveis ambientais. Consequentemente, os resultados devem ser interpretados numa perspetiva de diferenciação térmica relativa e de identificação de tendências consistentes, mais do que como quantificações absolutas dos processos microclimáticos. Ainda assim, a coerência dos padrões observados entre diferentes espécies, contextos e períodos sazonais reforça a robustez das conclusões, permitindo sustentar a proposta conceptual de distinção entre “sombra quente” e “sombra fresca” como uma ferramenta interpretativa válida no domínio da climatologia urbana aplicada.

5. Análise dos dados

5.1. Comportamento térmico das espécies arbóreas em contexto de espaço verde

A análise comparativa realizada no Jardim da Sereia evidencia diferenças significativas no comportamento térmico entre a espécie caducifólia *Quercus robur* e a espécie perenifólia *Cupressus sempervirens*, permitindo aprofundar o papel da estrutura da copa e da fenologia na modulação do microclima urbano (Figura 3).

Durante o período estival, os registos térmicos demonstram que *Quercus robur* apresenta, de forma consistente, valores de temperatura do ar inferiores aos observados sob *Cupressus sempervirens*. Este comportamento está diretamente associado à maior densidade foliar e à arquitetura expansiva da copa da espécie caducifólia, que favorece um bloqueio mais eficaz da radiação solar incidente. Consequentemente, verifica-se uma redução mais acentuada do aquecimento das superfícies subjacentes e uma maior capacidade de arrefecimento do ar envolvente.

Por oposição, *Cupressus sempervirens*, caracterizado por uma copa estreita e um formato fastigiado, revela uma menor eficácia no sombreamento, permitindo maior penetração da radiação solar e originando temperaturas mais elevadas ao longo do dia. Esta diferença torna-se particularmente evidente nas horas de maior intensidade radiativa, período em que a divergência térmica entre as duas espécies se acentua.

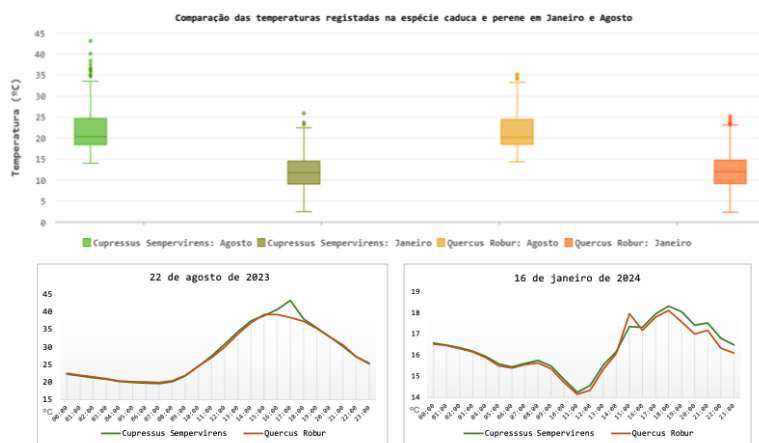


Figura 3. Comparação da distribuição estatística das temperaturas (*boxplot*) e da variação térmica diária registada sob a copa de *Cupressus sempervirens* e *Quercus robur*, em agosto de 2023 e janeiro de 2024, evidenciando diferenças no desempenho microclimático entre a espécie caducifólia e perenifólia.

No período invernal, observa-se uma inversão parcial deste comportamento, associada à fenologia das espécies. A perda de folhagem de *Quercus robur* permite uma maior incidência de radiação solar sobre o solo, traduzindo-se em temperaturas diurnas mais elevadas comparativamente às registadas sob *Cupressus sempervirens*, cujo dossel perene persiste como barreira à radiação. Esta dinâmica evidencia o papel determinante da sazonalidade na regulação microclimática, confirmando que o desempenho térmico das espécies não pode ser interpretado de forma estática, mas antes como um processo contínuo e variável ao longo do ano.

5.2. Estratificação térmica vertical no interior da copa arbórea

A análise dos dados obtidos na *Tilia europaea*, com sensores instalados a 3 e 6 metros de altura, permite evidenciar a existência de uma clara diferenciação térmica vertical no interior da copa, particularmente durante o período de verão (Figura 4).

• Gradiente térmico vertical na *Tilia Europaea* medido a 3 e 6 metros de altura

Medições com dataloggers de temperatura no Jardim Botânico da Universidade de Coimbra

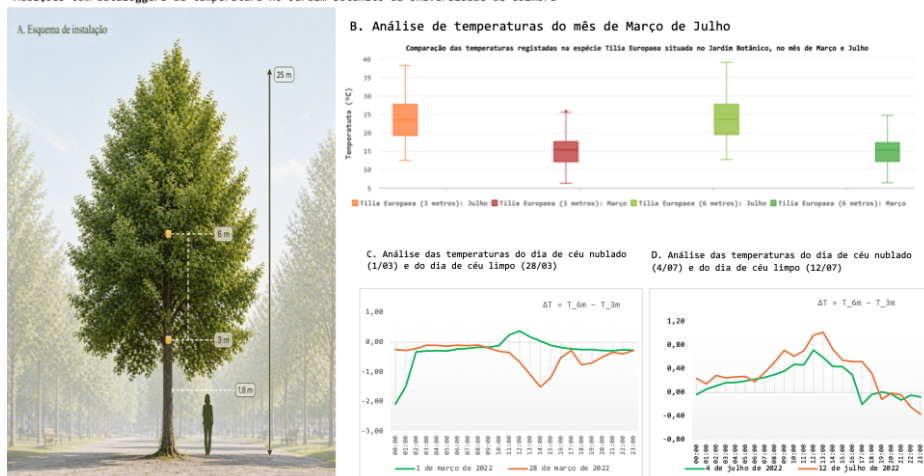


Figura 4. Avaliação do gradiente térmico vertical sob a copa da *Tilia europaea*, demonstrando o papel da densidade e estrutura da copa na modulação térmica ao longo do perfil vertical, com variações sazonais e diurnas em diferentes condições meteorológicas.

No mês de março, correspondente a uma fase inicial do ciclo vegetativo, os valores registados revelam uma fraca diferenciação térmica entre os dois níveis, com gradientes próximos da neutralidade. Este comportamento pode ser explicado pela reduzida densidade foliar, que permite uma maior homogeneização térmica e uma menor capacidade de modulação da radiação solar. Embora a Figura 4B ilustre a distribuição geral das temperaturas nos dois meses, a diferença vertical entre os 3 e os 6 metros é, nesta fase, pouco expressiva, como confirmado pelo perfil diário da Figura 4C, onde o ΔT oscila predominantemente em torno de valores negativos.

Em contraste, no mês de julho, quando a copa se encontra plenamente desenvolvida, a estratificação térmica vertical torna-se mais marcada, sendo esta diferença mais legível nos perfis diários da Figura 4D do que na distribuição mensal da Figura 4B. Durante as horas de maior insolação, o ΔT assume valores predominantemente positivos, confirmando que o topo da copa, à cota dos 6 metros, regista temperaturas superiores às da subcopa, por efeito da maior exposição à radiação solar direta. Em sentido inverso, o nível da sub-copa beneficia de condições de sombreamento mais eficazes, traduzindo-se em temperaturas comparativamente mais moderadas.

Para além da sazonalidade, a análise diária evidencia que a intensidade do gradiente térmico vertical varia ao longo do dia, sendo mais acentuada durante as horas centrais, quando a radiação solar atinge valores máximos. Em períodos de maior nebulosidade, este gradiente tende a atenuar-se, o que confirma o papel central da radiação na organização térmica vertical do microclima arbóreo.

Os resultados revelam que o sinal e a magnitude do gradiente térmico vertical ($\Delta T = T_{6m} - T_{3m}$) são determinados pela interação entre a densidade foliar sazonal da copa e as condições de radiação solar. Em julho, com a copa em plena expansão, o dossel interceta a radiação de onda curta, aquecendo preferencialmente a camada

superior (6m) e protegendo a camada inferior (3m), o que cria um ΔT positivo e persistente durante o período diurno (pico de $+1,0^{\circ}\text{C}$ a $+1,2^{\circ}\text{C}$). Em Março, com a copa ainda pouco densa, esta barreira radiativa é praticamente inexistente: o aquecimento condutivo do solo e a penetração direta da radiação solar até à superfície resultam numa camada de 3m mais quente que a 6m, invertendo o sinal do ΔT . Em ambas as estações o gradiente converge para 0 durante a noite, confirmando que o fenómeno é essencialmente radiativo e não advectivo.

Estes resultados demonstram que o microclima urbano apresenta uma estrutura tridimensional complexa, na qual a vegetação não atua apenas ao nível do solo, mas também na vertical, criando nichos térmicos diferenciados que influenciam diretamente o conforto ao nível pedonal.

5.3. Influência do contexto urbano na modulação térmica

A comparação entre o Jardim da Sereia e a Praça da República permite evidenciar o papel determinante do contexto urbano na eficácia do sombreamento e na regulação térmica. Embora ambas as áreas apresentem espécies arbóreas com capacidade de sombreamento, os resultados demonstram que o ambiente envolvente condiciona fortemente o comportamento térmico observado. A Figura 5 ilustra esta diferenciação: nos *boxplots* mensais, o *Quercus robur* apresenta maior dispersão térmica em agosto, refletindo a variabilidade característica do espaço verde; nos perfis diários, a divergência entre espécies acentua-se nas horas de maior insolação (11h–17h), sendo mais expressiva no dia estival de 22 de agosto do que no dia invernal de 16 de janeiro.

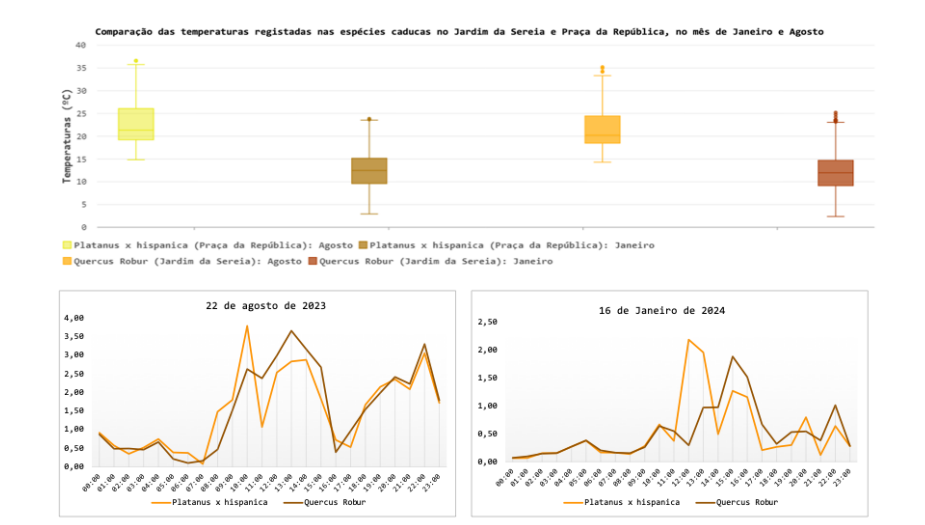


Figura 5. Comparação do desempenho microclimático de *Platanus × hispanica* e *Quercus robur*, com base na distribuição e variação horária da temperatura do ar em períodos estivais e inverniais, evidenciando diferenças no efeito de sombreamento e modulação térmica.

Na Praça da República, caracterizada por uma elevada impermeabilização do solo e pela predominância de materiais como o asfalto e a pedra, os registos térmicos

evidenciam valores mais elevados. Este comportamento está associado à elevada capacidade de absorção e armazenamento de calor destes materiais, que contribuem para o aquecimento do ar circundante e para a manutenção de temperaturas elevadas, mesmo em zonas aparentemente sombreadas.

Em contraste, no Jardim da Sereia, a presença de solo permeável, vegetação densa e maior disponibilidade hídrica favorece os processos de evapotranspiração, resultando numa redução mais eficaz da temperatura do ar. Este efeito traduz-se na formação de microclimas mais amenos e estáveis, com menor amplitude térmica e um aquecimento mais gradual ao longo do dia.

No dia estival (22 de agosto de 2023), ambas as espécies apresentam valores de amplitude térmica baixos e semelhantes durante o período noturno, refletindo a ausência de radiação solar. Contudo, o *Platanus* evidencia valores ligeiramente superiores, sugerindo a influência da reemissão térmica das superfícies impermeáveis da Praça da República. Durante a manhã, ambas as curvas aumentam com a insolação, mas o *Platanus* apresenta uma resposta mais rápida e irregular, em contraste com a subida mais gradual do *Quercus*, explicada pela ação combinada da evapotranspiração, que consome energia sob a forma de calor latente, e pelas condições microclimáticas do jardim.

No período de maior insolação, as diferenças de amplitude térmica diária tornam-se mais evidentes: sob *Quercus* (jardim), registam-se valores mais elevados (3,0–3,5 °C), refletindo a maior variabilidade térmica diária característica de um espaço verde com substrato permeável; sob *Platanus* (praça), os valores são inferiores e mais estáveis (2,0–2,5 °C), o que não traduz necessariamente um ambiente mais fresco, mas antes a capacidade dos materiais impermeáveis de acumular e reemitir calor, amortecendo a variação diária sem reduzir as temperaturas absolutas.

No dia invernal (16 de janeiro de 2024), ambas as espécies apresentam amplitudes térmicas reduzidas e maior irregularidade ao longo do dia. Durante a noite e a manhã, os valores aproximam-se de zero, sem padrão definido. No período diurno, o *Platanus* regista um pico de amplitude superior (2,0 °C) ao do *Quercus* (1,5 °C), embora a diferença entre espécies seja menos acentuada do que no verão, em consequência da ausência de folhagem e da redução da atividade transpirativa.

A comparação entre estes dois contextos demonstra que a simples presença de árvores não é condição suficiente para garantir conforto térmico urbano. A eficácia do sombreamento depende da interação entre a vegetação e o meio envolvente, sendo particularmente influenciada pela natureza das superfícies, pela disponibilidade hídrica e pela configuração morfológica do espaço urbano.

5.4. Dinâmica térmica intra-diurna e padrões de variação

A análise das séries temporais diárias permite identificar padrões consistentes na variação térmica ao longo do dia, comuns aos diferentes contextos e espécies analisadas. De forma geral, observa-se um aumento progressivo da temperatura após o nascer do sol, atingindo valores máximos durante as horas centrais do dia, seguido de uma diminuição gradual ao longo da tarde e noite.

As diferenças entre espécies e contextos tornam-se mais evidentes durante o período de maior intensidade da radiação solar, momento em que o efeito do sombreamento e da evapotranspiração se manifesta de forma mais clara. Durante a noite, por sua vez, as temperaturas tendem a convergir, refletindo a redução da influência da radiação solar e o predomínio de processos de arrefecimento radiativo.

Nos contextos urbanos mais densos, verifica-se uma menor taxa de arrefecimento noturno, associada à libertação progressiva do calor armazenado pelas superfícies durante o dia. Este fenómeno, característico das Ilhas de Calor Urbanas, contribui para a manutenção de temperaturas mais elevadas durante a noite, diferenciando claramente estes espaços dos contextos mais verdes.

No caso da espécie *Quercus robur*, localizada num espaço verde, beneficia da maior disponibilidade hídrica e cobertura vegetal, o que favorece a evapotranspiração e o aquecimento tardio. Por outro lado, o *Platanus × hispanica*, inserido num meio urbano, está sujeito a superfícies impermeáveis e maior acumulação de calor, conduzindo a um aquecimento mais rápido e a picos térmicos precoces.

5.5. Integração dos resultados e validação do conceito de sombra térmica

A análise integrada dos dados permite consolidar a distinção entre “sombra quente” e “sombra fresca” como uma ferramenta interpretativa relevante no domínio da climatologia urbana aplicada. Os resultados demonstram que a sombra associada a espécies com copas densas, inseridas em contextos com elevada disponibilidade hídrica e menor artificialização, tende a produzir uma redução efetiva da temperatura do ar, configurando situações de “sombra fresca”.

Por outro lado, em contextos urbanos fortemente mineralizados, a presença de sombra não se traduz necessariamente em arrefecimento significativo, devido à influência do calor armazenado e reemitido pelas superfícies envolventes. Nestes casos, a “sombra quente” emerge como uma condição em que o sombreamento é insuficiente para contrariar o aquecimento do ambiente.

Esta distinção evidencia que o desempenho térmico da vegetação urbana resulta de uma interação complexa entre fatores biofísicos e urbanos, reforçando a necessidade de abordagens integradas no planeamento e na gestão da infraestrutura verde urbana.

6. Discussão

Para além da interpretação dos resultados obtidos em Coimbra, importa discutir o significado conceptual das evidências apresentadas. O principal contributo deste estudo não reside apenas na demonstração de diferenças térmicas entre espécies arbóreas ou entre distintos contextos urbanos, aspetos já amplamente documentados na literatura internacional, mas sobretudo na proposta de uma nova forma de interpretar essas diferenças através da distinção entre “sombra quente” e “sombra fresca”.

Esta proposta não pretende substituir os indicadores biometeorológicos clássicos nem os modelos consolidados da climatologia urbana. Pelo contrário, procura funcionar como uma categoria interpretativa intermédia, suficientemente simples para ser operacionalizada em estudos de campo e suficientemente robusta para apoiar decisões de planeamento urbano. Neste sentido, a diferenciação entre sombra quente e sombra fresca constitui uma aproximação funcional ao desempenho climático do coberto arbóreo, permitindo integrar, numa mesma leitura, fatores estruturais da vegetação, características do contexto urbano e comportamento térmico observado.

6.1. O papel diferencial das espécies arbóreas na modulação térmica

Os resultados obtidos confirmam que a vegetação arbórea desempenha um papel relevante na modulação do microclima urbano, mas evidenciam simultaneamente que esse efeito não é uniforme entre espécies. A comparação entre *Quercus robur* e *Cupressus sempervirens* demonstra que a estrutura da copa e a densidade foliar são fatores determinantes na eficácia do sombreamento, corroborando estudos que apontam a arquitetura da copa como variável-chave na regulação térmica (Rahman et al., 2018; Leuzinger et al., 2010).

No caso das espécies caducifólias, a presença de copas amplas e densas durante o verão traduz-se numa redução mais eficaz da radiação solar incidente e, consequentemente, numa diminuição das temperaturas ao nível do solo. Este comportamento é consistente com a literatura, que evidencia o papel destas espécies na mitigação do stress térmico em climas mediterrânicos (Gill et al., 2007; Bowler et al., 2010).

Por outro lado, as espécies perenifólias analisadas, apesar de garantirem cobertura ao longo de todo o ano, apresentam menor eficácia no verão quando a sua copa é menos densa ou menos expansiva. Este resultado reforça a necessidade de considerar não apenas a persistência foliar, mas também a morfologia da copa no planeamento urbano (Quadro 4).

Quadro 4. Relação entre características da copa e desempenho térmico das espécies

Característica da copa	Descrição	Exemplos de características	Efeito térmico predominante	Desempenho térmico (no verão)	Desempenho térmico (no inverno)	Observações / Impactos urbanos
Densidade foliar	Quantidade de folhas por unidade de volume da copa.	• Densa • Intermediária • Rala	Sombreamento e redução da radiação solar	● Excelente (quanto mais densa, maior o resfriamento)	● Moderado a baixo (reduz ganho solar no inverno)	Copas muito densas são ideais para climas quentes; em climas frios, podem reduzir o aquecimento solar desejado.
Amplitude da copa	Extensão horizontal da copa.	• Ampla (> 8 m) • Média (4–8 m) • Pequena (< 4 m)	Aumento da área sombreada	● Excelente (quanto maior a amplitude)	● Moderado (maior amplitude = mais sombreamento)	Copas amplas proporcionam maior sombreamento de superfícies e fachadas, reduzindo ilhas de calor.
Altura da copa	Distância entre o solo e o início da copa.	• Baixa (< 2 m) • Média (2–4 m) • Alta (> 4 m)	Ventilação e circulação do ar	● Bom (copas altas permitem ventilação e resfriamento)	● Bom a excelente (melhor entrada de sol no nível do solo)	Copas muito baixas podem bloquear ventos e reduzir ventilação; copas altas favorecem o conforto térmico pedonal.
Tamanho e espessura das folhas	Dimensão e espessura das folhas que compõem a copa.	• Grandes / espessas • Médias • Pequenas / finas	Evapotranspiração e absorção de calor	● Excelente (folhas grandes e espessas aumentam resfriamento)	● Moderado (folhas grandes reduzem ganho solar)	Folhas grandes e espessas promovem maior evapotranspiração e resfriamento do ar.
Índice de área foliar (IAF)	Relação entre a área total de folhas e a área de solo ocupada.	• Alto (> 3) • Médio (1–3) • Baixo (< 1)	Intercepção da radiação solar	● Excelente (IAF alto = maior sombreamento)	● Baixo (pode reduzir ganho solar)	IAF alto é desejável para mitigar calor no verão; espécies caducifólias ajustam o IAF sazonalmente.
Estrutura da copa	Forma e distribuição dos ramos e folhagem na copa.	• Globosa / arredondada • Oval / colunar • Irregular / aberta	Sombreamento e resistência ao vento	● Bom a excelente (copas fechadas sombream mais)	● Moderado (copas abertas permitem mais sol)	Copas globosas oferecem sombra uniforme; copas abertas permitem maior penetração solar e ventilação.
Profundidade da copa	Extensão vertical do folhagem (espessura da copa).	• Profunda (> 4 m) • Média (2–4 m) • Rala (< 2 m)	Barreira térmica e redução da temperatura radiante	● Excelente (copas profundas maior barreira térmica)	● Moderado (pode reduzir aquecimento solar)	Copas profundas reduzem a temperatura radiante média dos espaços sombreados.
Persistência das folhas	Período em que a copa mantém as folhas.	• Persistente (perenifólia) • Semidecídua • Caducifólia	Sombreamento sazonal ajustável	● Excelente (IAF alto = maior sombreamento no verão)	● Excelente (caducifólias permitem sol no inverno)	Caducifólias oferecem melhor equilíbrio sazonal; persistentes garantem sombra constante em climas quentes.
Cor e refletância das folhas	Capacidade das folhas de refletir ou absorver a radiação solar.	• Folhas claras / corosas • Folhas médias • Folhas escuras	Refletância e absorção de calor	● Moderado (folhas refletem mais e aquecem menos)	● Bom (folhas escuras absorvem mais e aquecem mais)	Folhas claras (verde claro, prateadas ou corosas) ajudam a reduzir o ganho de calor no verão.
Diversidade de espécies	Composição de espécies com diferentes características de copa.	• Monoespecífica • Diversidade média • Alta diversidade	Regulação microclimática e resiliência térmica	● Excelente (maior diversidade = melhores resiliência térmica)	● Excelente (diversidade sazonal melhora aproveitamento solar)	Combinações de espécies de diferentes copas otimizam o conforto térmico ao longo do ano e em diferentes condições climáticas.

Nota: o desempenho térmico pode variar conforme o clima local, o porte da árvore, o contexto urbano e o manejo da vegetação.

Desempenho térmico: ● Excelente ● Moderado ● Baixo

Fontes: Adaptado de Nowak & Crane (2002); Shaubua-Bar et al. (2010); Arrison et al. (2012); Laveley et al. (2016).

6.2. Fenologia e sazonalidade: uma leitura dinâmica do microclima

Um dos aspetos mais relevantes evidenciados pelo estudo é a forte influência da sazonalidade no comportamento térmico das espécies. A inversão observada entre verão e inverno no caso das espécies caducifólias confirma que a fenologia constitui um elemento determinante na regulação do microclima urbano.

Durante o verão, a presença de folhagem promove o sombreamento e reduz o aquecimento das superfícies, enquanto no inverno a sua ausência permite maior entrada de radiação solar, contribuindo para o aquecimento passivo do espaço urbano (Figura 6). Este comportamento dual é amplamente reconhecido como vantajoso em estratégias de urbanismo bioclimático (Oke, 1987; Santamouris, 2013).

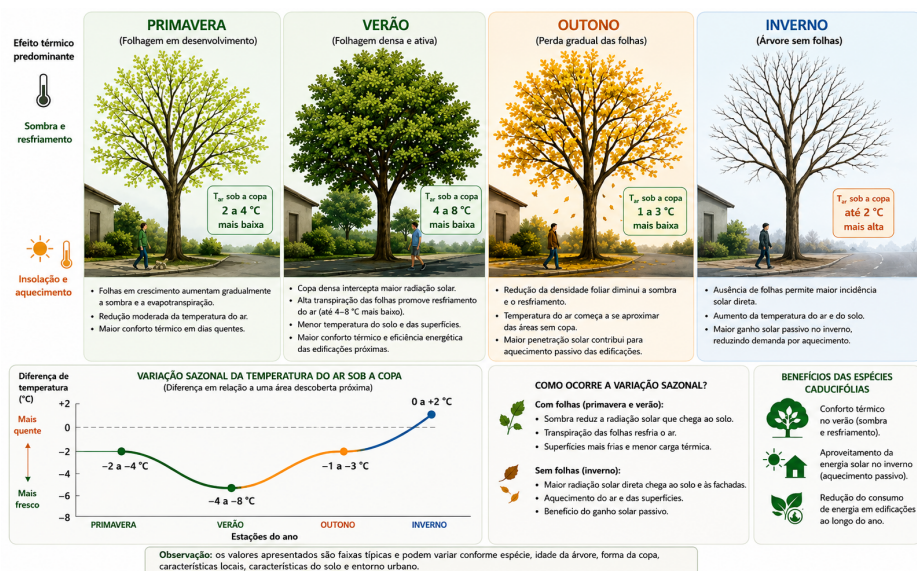


Figura 6. Variação sazonal do efeito térmico das espécies caducifólias: mecanismos de sombreamento e arrefecimento na primavera e verão, atenuação progressiva no outono e inversão do sinal térmico no inverno, com indicação dos valores típicos de diferença de temperatura face a áreas descobertas.

6.3. A importância do contexto urbano: além da espécie

Os resultados demonstram claramente que o efeito térmico das árvores não pode ser analisado isoladamente, sendo fortemente condicionado pelo contexto urbano em que se inserem. A comparação entre o Jardim da Sereia e a Praça da República evidencia que a mesma função de sombreamento pode produzir resultados distintos consoante a natureza das superfícies envolventes.

Em espaços verdes, a combinação de solo permeável, vegetação e maior disponibilidade hídrica potencia os processos de evapotranspiração, resultando em temperaturas mais baixas. Em contraste, em espaços fortemente mineralizados, o calor acumulado nas superfícies urbanas tende a reduzir a eficácia do sombreamento, mantendo temperaturas elevadas mesmo em áreas sombreadas.

Este resultado está em linha com estudos que sublinham a importância da interação entre forma urbana e cobertura vegetal na produção do microclima (Stewart & Oke, 2012; Shashua-Bar et al., 2009).

6.4. Estratificação térmica vertical e complexidade microclimática

A análise da estratificação térmica vertical na *Tilia europaea* revela que o microclima urbano não é apenas heterogêneo no plano horizontal, mas também no plano vertical. A existência de gradientes térmicos no interior da copa confirma a presença de microambientes diferenciados, associados à distribuição da radiação solar e à circulação do ar (Figura 7).

Durante o verão, a maior exposição da parte superior da copa resulta em temperaturas mais elevadas, enquanto a subcopa beneficia de condições mais estáveis e frescas. Este padrão tem sido descrito na literatura como característico de ambientes arbóreos urbanos (Leuzinger et al., 2010).

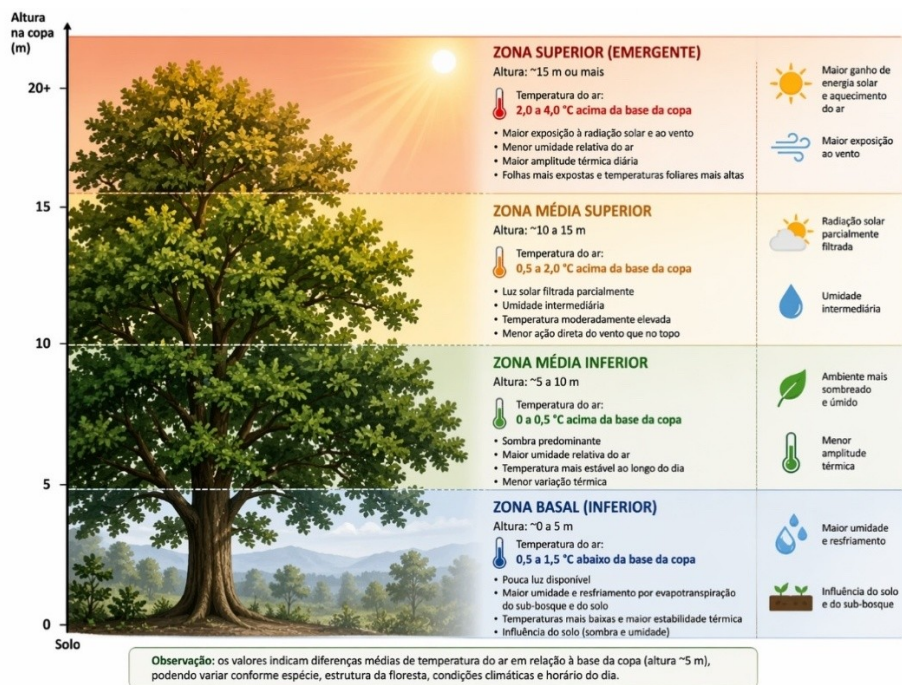


Figura 7. Estratificação térmica vertical na copa arbórea: caracterização das quatro zonas verticais (basal, média inferior, média superior e emergente) em função da temperatura do ar, radiação solar, humidade e amplitude térmica, evidenciando o gradiente crescente de temperatura e exposição radiativa com a altura.

Esta dimensão vertical do microclima tem implicações importantes para o conforto térmico dos utilizadores do espaço urbano, uma vez que a percepção térmica ocorre ao nível pedonal.

6.5. Sombra quente e sombra fresca: validação do conceito

A análise integrada dos resultados permite validar empiricamente a distinção entre “sombra quente” e “sombra fresca”. Esta distinção revela-se particularmente útil para interpretar situações em que a presença de sombra não se traduz necessariamente em conforto térmico (Figura 8).

A “sombra fresca” ocorre sobretudo em contextos em que o sombreamento é acompanhado por evapotranspiração eficaz e baixa acumulação de calor nas superfícies, como nos espaços verdes estudados. Por oposição, a “sombra quente” verifica-se em ambientes urbanos densamente mineralizados, onde o calor armazenado nas superfícies limita o arrefecimento do ar.

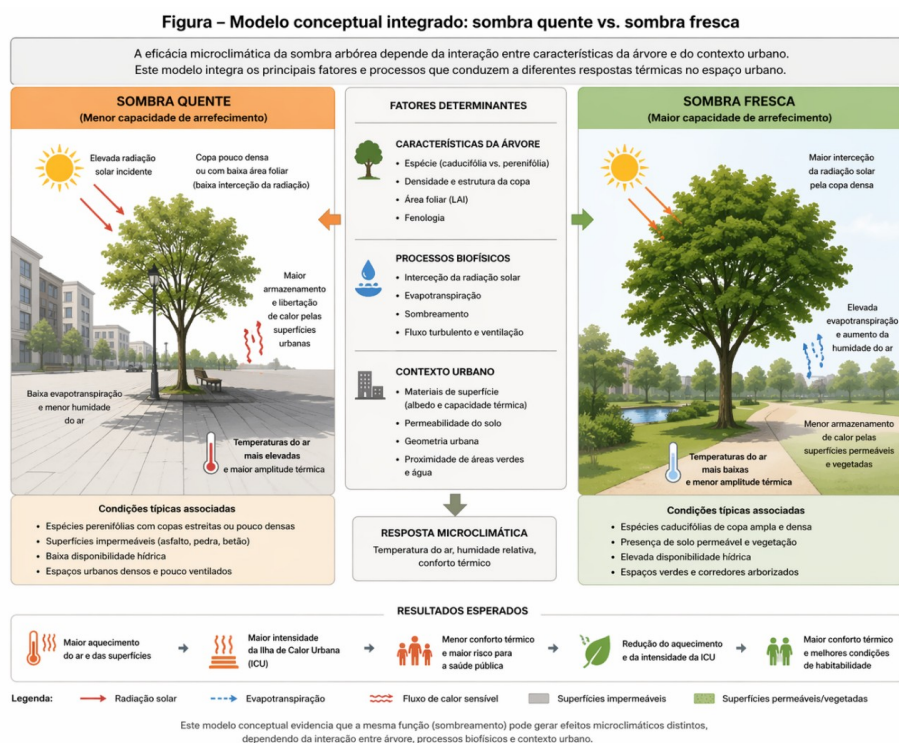


Figura 8. Modelo conceptual integrado: sombra quente vs. sombra fresca.

Este conceito, embora simplificado, permite articular de forma eficaz variáveis biofísicas e urbanas, oferecendo uma ferramenta interpretativa útil para a climatologia urbana aplicada.

6.6. Implicações para o planeamento urbano e políticas públicas

A interpretação dos resultados assenta numa abordagem de triangulação conceptual, que articula três dimensões fundamentais: (i) os padrões térmicos observados, (ii) as características estruturais das espécies arbóreas e (iii) o contexto urbano envolvente. Esta abordagem permite reforçar a consistência das inferências, ao identificar convergências entre diferentes níveis de análise, reduzindo a dependência de uma

única variável e mitigando as limitações associadas à ausência de medições microclimáticas completas. Ao evidenciar a interação entre fatores biofísicos e urbanos, esta leitura integrada ultrapassa uma visão simplificada do sombreamento, demonstrando que o desempenho térmico do coberto arbóreo resulta de processos multivariados e espacialmente diferenciados. Neste sentido, constitui uma base analítica robusta para a tradução dos resultados empíricos em orientações operacionais para o planeamento urbano.

Assim, os resultados do estudo têm implicações diretas para o planeamento urbano, nomeadamente no que diz respeito à seleção de espécies e à organização da estrutura verde urbana. A evidência empírica demonstra que a simples presença de árvores não é suficiente para garantir conforto térmico, sendo necessário considerar a sua eficácia real no contexto específico de implantação. Em particular, a distinção entre “sombra quente” e “sombra fresca” evidencia que o efeito do sombreamento depende da articulação entre a densidade e arquitetura da copa, a disponibilidade hídrica e a natureza das superfícies envolventes, reforçando a necessidade de integrar critérios bioclimáticos e ecológicos na conceção e gestão da infraestrutura verde urbana.

Quadro 5. Recomendações para planeamento urbano baseado em evidência microclimática

Recomendações alinhadas com o planeamento urbano sustentável e com as Soluções Baseadas na Natureza (NBS), tal como são promovidas pela Comissão Europeia:
Integrar infraestruturas verdes como um sistemas contínuo ▪ Criar corredores verdes interligados (parques, ruas arborizadas, linhas de água) ▪ Garantir conectividade ecológica entre zonas urbanas e periurbanas ▪ Tratar a vegetação como uma “infraestrutura”
Redução da ilha de calor Urbana ▪ Aumentar cobertura arbórea em zonas densas e pavimentadas ▪ Substituir superfícies impermeáveis por solos permeáveis e vegetação ▪ Priorizar o sombreamento natural em ruas pedonais e praças
Planeamento urbano baseado em desempenho microclimático ▪ Usar a modelação microclimática (temperatura, vento e radiação) ▪ Definir parâmetro como Sky View Factor e conforto térmico ▪ Avaliar os impacto climáticos antes de aprovar novos projetos
Vegetação estratégica e multifuncional ▪ Árvores de copa larga em zonas pedonais de modo a criar conforto térmico com a sombra fresca ▪ Árvores adaptadas ao clima local e resistentes à seca
Desenho urbano orientado para o conforto térmico ▪ Evitar ruas estreitas sem ventilação natural ▪ Promover alinhamentos que favoreçam ventos dominantes ▪ Modular as alturas dos edifícios para reduzir a retenção de calor
Apoio de medidas adaptativas e baseadas em evidências ▪ Instalar sensores urbanos de temperatura e humidade ▪ Ajustar intervenções com base em dados reais e não apenas em modelos ▪ Envolver as comunidade no desenho e manutenção das soluções

Estas orientações estão alinhadas com abordagens contemporâneas de planeamento urbano sustentável e Soluções Baseadas na Natureza (Nature-Based Solutions), que valorizam a integração da vegetação como infraestrutura climática (Gill et al., 2007; Santamouris, 2013).

6.7. Limitações e perspetivas futuras

Apesar dos contributos do estudo, importa reconhecer algumas limitações. A ausência de variáveis como humidade relativa, velocidade do vento ou radiação limita uma análise mais integrada do conforto térmico. Adicionalmente, a variabilidade temporal dos dados pode introduzir alguma incerteza nas comparações.

Futuros estudos poderão aprofundar esta investigação através da integração de índices biometeorológicos (como PET ou UTCI), da utilização de modelação microclimática e da análise de diferentes tipologias urbanas.

6.8. Alcance conceptual da proposta

A principal originalidade deste trabalho reside na tentativa de sistematizar uma distinção que, embora implicitamente presente em numerosos estudos de climatologia urbana, raramente foi formalizada como conceito operativo. A literatura descreve frequentemente diferenças de desempenho térmico entre espécies, parques urbanos e espaços mineralizados; contudo, essas diferenças são geralmente apresentadas como resultados específicos de cada estudo e não como expressão de categorias funcionais capazes de apoiar a interpretação comparativa entre diferentes cidades e diferentes sistemas arbóreos.

A distinção entre “sombra quente” e “sombra fresca” pretende precisamente preencher essa lacuna. Mais do que uma classificação dicotómica, constitui um quadro conceptual que permite organizar diferentes níveis de desempenho climático da vegetação urbana e estabelecer uma ligação direta entre investigação microclimática, desenho urbano e gestão da infraestrutura verde.

Neste sentido, o conceito deverá ser entendido como uma hipótese científica aberta, suscetível de ser progressivamente refinada através da integração de novas variáveis microclimáticas, índices biometeorológicos, modelação numérica e observações em diferentes contextos climáticos e urbanos.

7. Conclusões

O presente estudo analisou, de forma integrada, a influência do coberto arbóreo no microclima urbano da cidade de Coimbra, evidenciando o papel determinante da vegetação na mitigação dos efeitos das Ilhas de Calor Urbanas e na promoção do conforto térmico em espaço urbano.

Os resultados demonstram que a vegetação arbórea contribui de forma significativa para a redução da temperatura do ar e das superfícies, sobretudo durante o período estival, podendo originar diferenças térmicas relevantes entre áreas sombreadas e áreas expostas. Contudo, esta eficácia não é homogénea, variando em função de um conjunto de fatores interdependentes, entre os quais se destacam a espécie, a estrutura e densidade da copa, a fenologia e o contexto urbano envolvente.

A comparação entre espécies caducifólias e perenifólias revelou comportamentos térmicos distintos, fortemente condicionados pela sazonalidade. As espécies caducifólias, como *Quercus robur*, demonstraram maior eficácia no arrefecimento durante o verão, devido à sua copa densa e ampla, enquanto no inverno a perda de folhagem fa-

vorece maior incidência de radiação solar, contribuindo para um aquecimento relativo do espaço. Este comportamento reforça o papel da fenologia como elemento-chave na regulação microclimática urbana.

Por outro lado, a análise comparativa entre diferentes contextos urbanos evidenciou que o efeito das árvores não pode ser dissociado do ambiente em que se inserem. Os espaços verdes, caracterizados por solos permeáveis e maior disponibilidade hídrica, apresentam condições mais favoráveis à evapotranspiração, resultando em temperaturas significativamente mais baixas. Em contraste, os espaços urbanos fortemente mineralizados tendem a limitar a eficácia do sombreamento, devido à acumulação e reemissão de calor pelas superfícies construídas.

A análise da estratificação térmica vertical demonstrou ainda a existência de gradientes térmicos no interior da copa, evidenciando a complexidade do microclima urbano e a importância de considerar a dimensão tridimensional da vegetação na sua avaliação.

Um dos principais contributos do presente estudo consiste em propor uma primeira sistematização conceptual da distinção entre “sombra quente” e “sombra fresca”, entendidas como categorias analíticas destinadas a interpretar o desempenho térmico diferencial do coberto arbóreo em contexto urbano. Os resultados obtidos em Coimbra demonstram que a presença de árvores, embora essencial para a mitigação climática, não conduz automaticamente à criação de ambientes termicamente mais confortáveis. Pelo contrário, a eficácia do sombreamento resulta da interação entre a arquitetura da copa, a fenologia das espécies, a disponibilidade hídrica e as características térmicas das superfícies envolventes, evidenciando que a qualidade climática da sombra é tão importante quanto a sua existência.

Esta perspetiva permite ultrapassar uma abordagem centrada exclusivamente na quantidade de cobertura arbórea, propondo uma leitura funcional do papel da vegetação urbana. Mais do que contabilizar árvores ou áreas verdes, torna-se necessário compreender o seu desempenho climático efetivo, condição indispensável para apoiar estratégias de adaptação às alterações climáticas, desenho urbano bioclimático e planeamento da infraestrutura verde. Neste sentido, a distinção entre “sombra quente” e “sombra fresca” constitui uma ferramenta interpretativa simples, mas potencialmente útil para aproximar a investigação microclimática das necessidades concretas do ordenamento do território.

Importa, contudo, reconhecer que esta proposta representa uma primeira etapa de um processo de investigação mais amplo. A operacionalização aqui apresentada deverá ser aprofundada através da integração de variáveis meteorológicas adicionais, como a radiação, a velocidade do vento, a humidade relativa e os fluxos de energia, bem como através da utilização de índices biometeorológicos, designadamente o PET e o UTCI, permitindo avaliar de forma mais completa a relação entre sombra, conforto térmico e desempenho ambiental. Do mesmo modo, a validação do conceito em diferentes espécies arbóreas, contextos urbanos e regiões climáticas permitirá testar a sua robustez e capacidade de generalização.

Nesta perspetiva, o presente artigo assume-se como uma primeira aproximação conceptual a uma problemática que poderá vir a constituir um novo campo de investigação no domínio da climatologia urbana aplicada. Coimbra funciona, neste tra-

balho, como um laboratório territorial onde se identificam processos cuja relevância ultrapassa claramente o caso de estudo, abrindo caminho para futuras investigações orientadas para a modelação do desempenho climático da vegetação urbana, para a avaliação funcional da infraestrutura verde e para o desenvolvimento de instrumentos de apoio ao planeamento urbano resiliente.

Em síntese, este estudo demonstra que compreender o contributo da vegetação urbana para a adaptação climática exige uma mudança de paradigma: mais do que aumentar a quantidade de árvores, importa compreender a qualidade climática da sombra que produzem. É precisamente nesta mudança de enfoque – da cobertura arbórea para o desempenho térmico do coberto arbóreo – que reside o principal contributo científico deste trabalho e o ponto de partida para o desenvolvimento das investigações que lhe darão continuidade.

Bibliografia

- Alcoforado, M. J., Andrade, H., Lopes, A., & Vasconcelos, J. (2008). Application of Climatic Guidelines to Urban Planning. *Landscape and Urban Planning*, 90(1–2), 56–65. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.006>
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban Greening to Cool Towns and Cities: A Systematic Review of the Empirical Evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>
- Bröde, P., Fiala, D., Blazejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Tinz, B., & Havenith, G. (2012). Deriving the Operational Procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 56(3), 481–494. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1>
- Cordeiro, A., Ornelas, A., & Lameiras, J. M. (2023). The Thermal Regulator Role of Urban Green Spaces: The Case of Coimbra (Portugal). *Forests*, 14(12), 2351. <https://doi.org/10.3390/f14122351>
- Cordeiro, A. M. R. (2021). Morphological System and Urban Settlements. Coimbra (Portugal): A City from the Roman Times to the Present. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 14, 19. <https://doi.org/10.11144/javeriana.cvu14.msus>
- Ganho, N. (1998). *O Clima Urbano de Coimbra: Estudo de Climatologia Local Aplicada ao Ordenamento Urbano* [Dissertação de Doutoramento]. Universidade de Coimbra, Instituto de Estudos Geográficos.
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. *Built Environment*, 33(1), 115–133. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>
- Leuzinger, S., Vogt, R., & Körner, C. (2010). Tree Surface Temperature in an Urban Environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(1), 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.08.006>
- Matzarakis, A., Mayer, H., & Iziomon, M. G. (1999). Applications of a Universal Thermal Index: Physiological Equivalent Temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43(2), 76–84. <https://doi.org/10.1007/s004840050119>
- Morakinyo, T. E., Kong, L., Lau, K. K.-L., Yuan, C., & Ng, E. (2017). A Study on the Impact of Shadow-Cast and Tree Species on In-Canyon and Neighborhood's Thermal Comfort. *Building and Environment*, 115, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.01.005>

- Nakamura, Y., & Oke, T. R. (1988). Wind, Temperature and Stability Conditions in an East-West Oriented Urban Canyon. *Atmospheric Environment*, 22(12), 2691–2700. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(88\)90437-4](https://doi.org/10.1016/0004-6981(88)90437-4)
- Oke, T. R. (1987). *Boundary Layer Climates* (2ª ed.). Routledge.
- Oke, T. R. (1982). The Energetic Basis of the Urban Heat Island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Oke, T. R. (2004). *Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites* (rel. técn. N. IOM Report No. 81, WMO/TD-No. 1250). World Meteorological Organization.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5), 1633–1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Rahman, M. A., Moser, A., Gold, A., Rötzer, T., & Pauleit, S. (2018). Vertical Air Temperature Gradients Under the Shade of Two Contrasting Urban Tree Species During Different Types of Summer Days. *Science of the Total Environment*, 633, 100–111. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.168>
- Rizwan, A. M., Dennis, L. Y. C., & Liu, C. (2008). A Review on the Generation, Determination and Mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 120–128. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4)
- Santamouris, M. (2013). Using Cool Pavements as a Mitigation Strategy to Fight Urban Heat Island. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 224–240. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.047>
- Shashua-Bar, L., Pearlmutter, D., & Erell, E. (2009). The Cooling Efficiency of Urban Landscape Strategies in a Hot Dry Climate. *Landscape and Urban Planning*, 92(3–4), 179–186. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.04.005>
- Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal Remote Sensing of Urban Climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370–384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)

Designing Climate-Resilient School Playgrounds: A Microclimatic Case Study of Outdoor Thermal Stress in a Mediterranean City (Coimbra, Portugal)

Projetar Pátios Escolares Resilientes ao Clima: Estudo de Caso Microclimático do Stress Térmico Exterior numa Cidade Mediterrânica (Coimbra, Portugal)

Joaquim Francisco P. Fialho ^{*1}, José Miguel Lameiras ^{**2}, Carolina Coelho ^{***3} and António M. Rochette Cordeiro ^{****4}

¹Faculty of Arts and Humanities, University of Coimbra, 3004-504 Coimbra, Portugal

²Faculty of Sciences, University of Porto, 4169-007 Porto, Portugal, BIOPOLIS/CIBIO-Research Centre in Biodiversity and Genetic Resources, 4485-661 Vairão, Portugal

³Faculty of Psychology and Education Sciences, University of Coimbra, 3000-115 Coimbra, Portugal, Center for Interdisciplinary Studies (CEIS20), 3000-186 Coimbra, Portugal

⁴Faculty of Arts and Humanities, University of Coimbra, 3004-504 Coimbra, Portugal, Center for Interdisciplinary Studies (CEIS20), 3000-186 Coimbra, Portugal

Abstract

Outdoor thermal comfort in Mediterranean school playgrounds is increasingly compromised by climate change, 20th-century morphological legacies, and inadequate vegetation planning. This study quantifies outdoor thermal conditions at José Falcão Secondary School (Coimbra, Portugal) using the SOLWEIG (SOLar and LongWave Environmental Irradiance Geometry) microclimatic model within the UMEP framework. High-resolution LiDAR-derived morphology (0.3 m) and in-situ meteorological forcing for 9 May 2024 supported hourly simulations of mean radiant temperature (T_{mrt}), Universal Thermal Climate Index (UTCI), and ground surface temperature (T_s) across nine Points of Interest. Results reveal a daily-averaged T_{mrt} range of nearly 25 °C between dense canopies (≈ 31 °C beneath *Eriobotrya japonica* and *Tilia spp.*) and the asphalt sports field (≈ 51 °C). The pooled regression $UTCI = 15.43 + 0.349 \cdot T_{mrt}$ ($R^2 = 0.94$) demonstrates that, under clear-sky conditions, T_{mrt} statistically accounts for 94% of intra-site UTCI variability. Asphalt sports areas exceed the 55 °C cutaneous burn-risk threshold for three consecutive hours and accumulate up to 11 hours of strong-to-very-strong heat stress. Hence, a clear accessibility paradox emerges: the most thermally favourable spaces remain off-limits to students

Cadernos de
Geografia

doi: https://doi.org/10.14195/0871-1623_53_6

Received on:
May 8, 2025
Accepted on:
July 1, 2026

*Email: jpfialho@student.uc.pt

**Email: jmlameiras@fc.up.pt

***Email: carolina.coelho@uc.pt

****Email: rochettecordeiro@fl.uc.pt

during school hours, who are concentrated in the most exposed areas. Findings support a hybrid green–grey adaptation strategy combining the opening of existing thermal refugia, asphalt-to-canopy conversion with broadleaved deciduous species, cool-pavement coatings, and vegetated shade structures.

Keywords: Exterior thermal stress. UTCI. SOLWEIG. Mediterranean climate. School playground microclimate.

Resumo

O conforto térmico exterior em pátios escolares mediterrânicos tem vindo a ser progressivamente comprometido pela conjugação das alterações climáticas, das características construtivas do século XX e da insuficiente integração da componente vegetal no desenho dos espaços. O presente estudo procura quantificar as condições térmicas exteriores na Escola Secundária José Falcão (Coimbra, Portugal), mediante a aplicação do modelo microclimático SOLWEIG, integrado na plataforma UMEP. A reconstituição morfológica do sítio, suportada em dados LiDAR de elevada resolução (0,3 m), bem como o forçamento meteorológico observado *in situ* a 9 de maio de 2024, permitiram a simulação horária da temperatura radiante média (T_{mrt}), do Universal Thermal Climate Index (UTCI) e da temperatura da superfície do solo (T^s) em nove Pontos de Interesse. Os resultados obtidos mostram uma amplitude média diária de T_{mrt} da ordem dos 25 °C, contrastando as copas densas (≈ 31 °C sob *Eriobotrya japonica* e *Tilia spp.*) com o campo desportivo asfaltado (≈ 51 °C). A regressão $UTCI = 15,43 + 0,349 \cdot T_{mrt}$ ($R^2 = 0,94$) demonstra que, sob condições de céu limpo, a T_{mrt} explica, em termos estatísticos, 94% da variância espacial do UTCI. As superfícies asfaltadas do campo desportivo excedem o limiar de risco de queimadura cutânea de 55 °C durante três horas consecutivas, acumulando até onze horas de stress térmico forte a muito forte. Contudo, este caso manifesta um paradoxo de acessibilidade: os espaços termicamente mais confortáveis encontram-se vedados ao uso dos alunos durante o período letivo, pelo que estes se concentram nas áreas mais expostas. Sustenta-se, com base nestes resultados, uma estratégia híbrida verde-cinzenta, articulando a abertura dos refúgios térmicos existentes, a conversão de áreas asfaltadas em zonas arborizadas com espécies caducifólias, a aplicação de revestimentos de elevado albedo e a implementação de estruturas de sombreamento vegetadas.

Palavras-chave: Stress térmico exterior. UTCI. SOLWEIG. Clima mediterrânico. Microclima no pátio escolar.

1. Introduction

School playgrounds are among the most intensively occupied open-air environments in the urban fabric. Children and adolescents typically spend between one quarter and one third of their school day outdoors, often during the central hours of the day when solar forcing is strongest and thermoregulatory capacity is most challenged (Antoniadis et al., 2020; Vanos, 2015). From a bioclimatic standpoint, school playgrounds behave as semi-confined urban canyons in which radiative exchange, surface materiality, and vegetation structure interact to produce highly heterogeneous thermal fields at pedestrian scale (Lai et al., 2020). In Mediterranean climates, these dynamics are intensified by a pronounced seasonal concentration of clear-sky conditions, high solar altitude angles, and increasingly frequent summer heatwaves, which

together generate frequent exceedances of outdoor thermal comfort thresholds during regular school activities (Nouri et al., 2024; Silva et al., 2024).

Recent climatological assessments confirm a systematic intensification of heat-related stress across Southern Europe. The IPCC Sixth Assessment Report (IPCC, 2023) attributes the observed increase in heatwave frequency since the mid-20th century to anthropogenic forcing with very high confidence, and projects further amplification under all emission scenarios, with the Mediterranean basin identified as a climate-change hotspot (Cos et al., 2024; Jézéquel et al., 2025; MedECC, 2020). Iberian-scale projections converge on a near-continuous warming and drying signal: heatwave intensity, duration, and spatial extent are all expected to increase by mid-century under both moderate and high-emission pathways (Bento et al., 2025; Lima et al., 2023; Sánchez-Benítez et al., 2025). Within urban areas, these regional signals are further modulated by the urban heat island, whose nocturnal intensity in European cities frequently ranges between 2 and 7 °C and reaches even stronger pedestrian-level radiative contrasts under direct solar exposure (Aroso et al., 2026; Cordeiro, 2023; Yang et al., 2021).

A central insight of recent biometeorological research is that air temperature alone is a poor proxy for outdoor thermal stress. On clear, calm summer days, the radiative environment – captured by mean radiant temperature (T_{mrt}) – explains a substantially greater share of perceived discomfort than near-surface air temperature, which tends to be spatially homogeneous within the canyon-scale (Höppe, 1999; Kántor & Unger, 2011; Lai et al., 2020). Field and modelling studies consistently report that T_{mrt} can exceed 60 °C in sun-exposed paved environments during summer, while shaded vegetated areas may reduce radiative loads by more than 20-30 °C, depending on canopy density, sky view factor (SVF), and leaf area index (Antoniadis et al., 2020; Konarska et al., 2024; Speak et al., 2020). Translating this radiative environment into physiologically meaningful categories has been advanced through the Universal Thermal Climate Index (UTCI), now widely adopted as a standardised metric of outdoor thermal stress (Bröde et al., 2012; Di Napoli et al., 2024).

Resolving these processes at the spatial scale of a schoolyard requires physically based microclimatic modelling. The SOLar and LongWave Environmental Irradiance Geometry (SOLWEIG) model, developed within the Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP) framework (Lindberg et al., 2018), provides a state-of-the-art, computationally efficient solution for simulating three-dimensional radiative exchange in complex urban geometries. SOLWEIG decomposes the radiative environment around a standing person into six directional components: upward, downward, and four cardinal horizontal orientations; also integrates shortwave and longwave fluxes attenuated by buildings, ground, and vegetation derived from high-resolution digital surface models (Lindberg & Grimmond, 2011; Lindberg et al., 2008). Compared with computationally heavier CFD-based platforms such as ENVI-met, SOLWEIG offers a favourable trade-off between physical realism and the spatial extent that can be simulated at sub-metric resolution, making it particularly well suited to high-density urban settings where LiDAR-derived terrain and canopy data are available (Gholami et al., 2024; UMEP-dev, 2025). Its primary outputs: T_{mrt} and, when coupled with meteorological forcing, UTCI, are widely accepted as biophysical

determinants of outdoor thermal comfort. The 2025 implementation of the model further refines vegetation parameterisation through improved canopy transmissivity schemes and a more realistic representation of three-dimensional tree structure, allowing for finer simulation of radiative attenuation in heterogeneous environments (UMEP-dev, 2025).

An equally important conceptual distinction concerns the complementarity between modelled radiative variables and in-situ measurements of air temperature and humidity. Air-temperature data, typically obtained from fixed weather stations or short-duration field campaigns with thermo-hygrometric sensors, characterise the boundary atmospheric forcing but smooth out the radiative heterogeneities that determine pedestrian-level heat exposure (Aroso et al., 2026; Silva et al., 2024). Conversely, model-derived T_{mrt} maps reveal these spatial gradients with metric precision but depend on adequate meteorological forcing for their physiological translation into UTCI (Lindberg et al., 2018; Walikewitz et al., 2015). The coupling of both layers, observed T_a (air temperature) and RH (relative humidity) as boundary conditions, modelled T_{mrt} and UTCI as outcome variables, therefore provides a more complete picture of thermal comfort than either approach in isolation (Pioppi et al., 2024).

Vegetation has consistently been identified as the most effective nature-based strategy for mitigating outdoor thermal stress in cities (Wong et al., 2021; Li et al., 2024). Global syntheses indicate that urban tree canopy cover can reduce near-surface air temperature by 1-5 °C and pedestrian-level UTCI by up to 6-12 °C, predominantly through interception of shortwave radiation rather than direct evaporative cooling (Li et al., 2024; Lai et al., 2020; Speak et al., 2020). Cooling efficacy, however, is highly dependent on structural and physiological traits: leaf area density, canopy porosity, transpiration rate, and spatial configuration and on the background climate. In Mediterranean settings, deciduous broadleaved species offer optimal seasonal performance, providing dense summer shade while allowing winter solar gain after defoliation (Masseti et al., 2019; Rahman et al., 2017). Conversely, evergreens may produce persistent but radiatively less efficient shade if canopy density and ventilation are insufficient, occasionally generating “dry shade” conditions with limited transpirational benefit (Francini et al., 2023; Rötzer et al., 2024).

Despite this consolidated scientific background, a large share of school infrastructures developed during the 20th-century urban expansion of Southern Europe were not designed according to climatic performance principles. In Portugal, this legacy has produced school playgrounds characterised by extensive impermeable surfaces, fragmented vegetation, and limited integration of shading structures (Coelho et al., 2022; Cordeiro et al., 2025). Although contemporary renovation initiatives, notably the *Parque Escolar*¹ programme, have improved indoor energy performance, outdoor environments frequently remain thermally inefficient, particularly during late spring, when student exposure coincides with peak radiative forcing (Cordeiro et al., 2023;

¹ Parque Escolar, is the Portuguese state-owned entity created in 2007 to plan, manage and finance the modernisation and refurbishment of the national public secondary-school building stock. Its interventions have centred mainly on the functional rehabilitation of buildings and on improving indoor conditions and energy efficiency, with comparatively limited attention to the climatic performance of outdoor spaces (Presidência do Conselho de Ministros, 2007).

Riaz et al., 2025). Recent international evidence aligns with this diagnosis: schoolyard ground surfaces in unshaded conditions routinely exceed contact-burn thresholds ($\approx 55^{\circ}\text{C}$) during summer afternoons, while greened or shaded areas remain within tolerable ranges (Pfautsch & Wujeska-Klaue, 2022; Sanz-Mas et al., 2025; Vanos et al., 2024).

This building-centred focus reflects a broader tendency in Portuguese facility planning to address collective equipment at the scale of the individual building rather than through an integrated reading of the territory in which it is embedded. Methodologies developed for the territorial planning of networks of collective services and facilities have long argued that such interventions should rest on an integrated geographic and environmental diagnosis (encompassing physical constraints, accessibility, and demographic dynamics), rather than on administrative or building-by-building logics that rarely coincide with the functional and natural boundaries of the territory. Extending this rationale to the school estate implies that the climatic performance of outdoor spaces should be incorporated as an explicit criterion in the diagnosis and programming of school-facility renewal, alongside the indoor and energy-efficiency dimensions that have hitherto prevailed.

Recent research has increasingly addressed this issue through nature-based solutions and participatory design frameworks. Sanz-Mas et al. (2025), evaluating eleven primary schools in Barcelona, demonstrated that combined green-blue-grey interventions (vegetation, water elements, and shade structures), significantly improved heat perception and schoolyard appreciation among children and teachers. The study by Cordeiro et al. (2025), conducted in two secondary schools in Coimbra (Escola Secundária José Falcão, (ESJF), and Escola Secundária D. Dinis, (ESDD), provided a directly relevant local antecedent: combining school-community surveys with thermo-hygrometric measurements, the authors identified a clear correspondence between perceived discomfort and elevated air temperatures over unshaded asphalt surfaces, with up to 5°C of cooling under tree canopies, and proposed a portfolio of co-designed greening interventions. However, that previous assessment remained primarily perception- and T_a -based, with limited capacity to resolve the radiative processes that dominate pedestrian-level discomfort under clear-sky Mediterranean conditions (Antoniadis et al., 2020; Lai et al., 2020).

The present study extends this research direction by introducing a SOLWEIG-based microclimatic modelling framework to explicitly quantify outdoor thermal conditions in the ESJF schoolyard. Unlike the previous approach, it integrates spatially explicit, hourly simulations of T_{mrt} , UTCI, and ground surface temperature (T_s) at 0.3 m resolution, enabling a mechanistic assessment of thermal exposure patterns driven by urban morphology and surface composition. This allows for the identification of radiative hotspots, the quantification of vegetation-induced cooling effects, and the evaluation of land-cover performance and cutaneous burn risk under representative late-spring conditions. Three guiding research questions structure the analysis: (i) how is the radiative environment spatially distributed across a Mediterranean schoolyard with strong morphological asymmetry? (ii) to what extent does T_{mrt} , rather than air temperature, drive UTCI variability under clear-sky forcing? and (iii) which morphological and vegetation configurations are most effective at

reducing radiative exposure and cutaneous burn risk in the spaces most intensively used by students?

By coupling high-resolution SOLWEIG outputs with detailed urban morphology and meteorological data, this study contributes to a more physically grounded understanding of schoolyard microclimates and to evidence-based strategies for climate-adaptive educational environments. It also bridges two methodological traditions – perception and air-temperature-based assessments on one side (Cordeiro et al., 2025; Sanz-Mas et al., 2025), and physically based radiative modelling on the other (Gholami et al., 2024; Lai et al., 2020), by demonstrating how their integration can support the climate-resilient retrofitting of consolidated 20th-century school infrastructures in Mediterranean cities.

2. Geographical Context and Study Site

The city of Coimbra is located in Portugal's central coastal region, occupying a transitional position between the Atlantic coastal lowlands and the elevated inland topography (Figure 1a, b). The prevailing climate exhibits Mediterranean characteristics tempered by Atlantic influences (Ferreira, 2005), manifesting in warm, arid summer months contrasted with mild, precipitation-rich winter periods. Episodic thermal extremes, including both heatwave episodes and cold-air intrusions, occur throughout the year and generate substantial seasonal physiological stress. Urban morphology significantly modulates local thermal patterns: high-density built environments demonstrate elevated nocturnal temperatures consistent with heat-island formation, whereas vegetated corridors and parkland provide ameliorated microclimatic refugia (Cordeiro et al., 2023).



Figure 1. Geographical context of the study area. (a) Location of Coimbra at the European scale; (b) Aerial image of José Falcão Secondary School; (c) Location of José Falcão Secondary School within the city of Coimbra.

José Falcão Secondary School (ESJF) constitutes the primary focus of this investigation. Situated along the eastern hillslope of a compact urban valley in Coimbra's historic core, the institution stands adjacent to the Jardim da Sereia (Figure 1c). The architectural ensemble, completed in 1936 under the direction of Carlos Ramos, Jorge Segurado, and Adelino Nunes, embodies the modernist educational design principles articulated in the "Plano dos Liceus" during Portugal's Estado Novo regime (Moniz, 2007; Nóvoa, 2003). The schoolyard organisation follows the natural topographic gradient through a series of terraced platforms, with the principal spatial element comprising a quadrangular, vegetated central courtyard bounded by learning facilities.

The school's exterior configuration presents a paradox of green-space availability versus accessibility. Despite the presence of multiple vegetated zones – mixed vegetation areas to the northwest and south, a lawn within the main building's central courtyard, and deciduous trees adjacent to the sports field – institutional policies and functional designations render these spaces largely inaccessible to students during regular school hours. The southern vegetated entrance zone is restricted to faculty and extracurricular gymnasium users, whereas the northwestern wooded area serves exclusively as a service zone for cafeteria operations. The central courtyard remains institutionally off-limits. Consequently, student occupation concentrates in the extensive asphalt-surfaced recreation area on the upper terrace and in the covered walkways, both characterised by minimal shade provision and significant solar exposure. The only broadly accessible green amenity comprises a modest stand of linden trees (*Tilia spp.*) bordering the sports court (Figure 1b).

The selection of ESJF as the study location responds to its representative condition within Coimbra's consolidated urban tissue. Embedded within dense 20th-century terrace development and constrained by functionally restricted green infrastructure, the school exemplifies the spatial and environmental challenges confronting heritage educational facilities in established urban centres. This context renders ESJF particularly valuable for examining outdoor thermal comfort dynamics and for evaluating climate adaptation interventions applicable to Portuguese secondary education.

3. Methodology

3.1. Input Data

Urban morphology was reconstructed from airborne LiDAR point clouds (nominal density 10 pts/m²) acquired in 2024 by the Directorate General for Territory (DGT) and distributed through the National System for Geographic Information (SNIG). All rasters were resampled to 0.3 m ground resolution and projected in ETRS89/PT-TM06 (EPSG:3763). Three elevation surfaces were derived: the Digital Terrain Model (DTM), representing the bare-earth ground elevation; the Digital Surface Model (DSM), representing the elevation of the topmost surfaces, including buildings and tree crowns; and the Canopy Digital Surface Model (CDSM), representing vegetation height above ground and computed as DSM minus DTM for vegetated pixels. The Trunk Zone Surface Model (TDSM) was not generated as an independent raster; instead, a fixed proportion of 25% of the CDSM height was pre-

scribed, following Lindberg and Grimmond (2011), in accordance with the model's standard parameterisation (Figure 3).

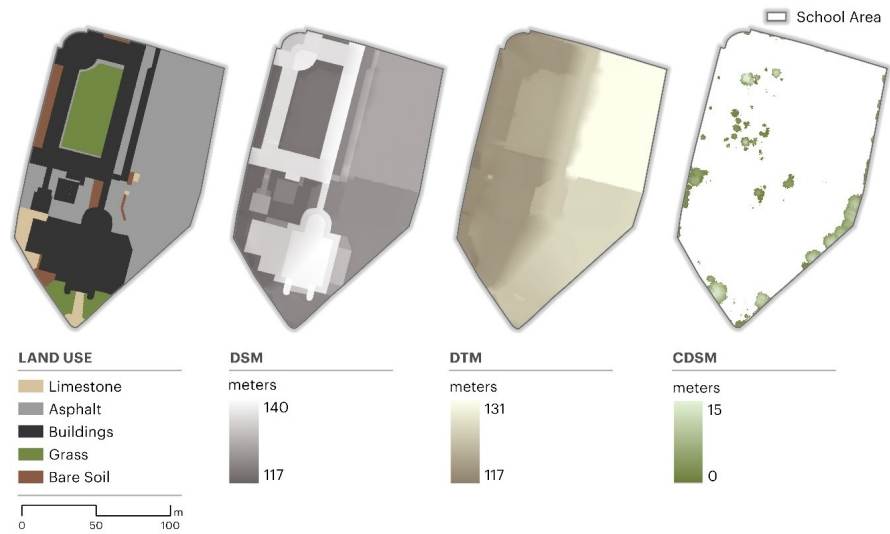


Figure 2. Land-use classification and LiDAR-derived elevation models (DSM, DTM, and CDSM) at 0.3 m.

From these primary surfaces, three additional datasets required by the radiation scheme were computed using the UMEP preprocessing tools: SVF, wall heights, and wall aspect grids. Land cover was manually digitised from 30 cm aerial orthophotography (DGT, 2023), validated against field observations, and reclassified into four surface categories adapted from Lindberg et al. (2018); limestone pavement parameters were adapted from Santamouris et al. (2011) (Table 1). It should be noted that tree canopy is not encoded as a ground land-cover class but volumetrically, through the CDSM and its associated trunk-zone height, in accordance with the SOLWEIG vegetation scheme (Lindberg et al., 2018). The ground beneath each canopy therefore retains its own surface class (e.g., limestone beneath the Loquat stand), while the radiative attenuation of the foliage is resolved separately via the canopy-transmissivity parameterisation; this is why the land-use legend in Figure 3 distinguishes only paved, built and grass surfaces, with the tree layer displayed in the accompanying CDSM panel.

Table 1. Surface radiative properties assigned per land-cover class.

Surface Type	Albedo	Emissivity
Asphalt	0.18	0.95
Bare Soil	0.25	0.94
Buildings	0.20	0.90
Grass	0.16	0.94
Limestone	0.40	0.95

Hourly meteorological data for 9 May 2024 were compiled from multiple sources. Hourly atmospheric pressure was obtained from the Geophysical and Astronomical Observatory of the University of Coimbra (OGAUC), Dias-da-Silva station (n.º 549), located approximately 200 m from the study site. Hourly global horizontal irradiance (K_{dn}), direct horizontal irradiance (K_{dir}), and diffuse horizontal irradiance (K_{diff}) were retrieved from the Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS v5.3), based on the ERA5 reanalysis dataset at the coordinates of the ESJF (Huld et al., 2012). T_a , RH, and wind speed were measured in situ at ESJF following the methodology described in Cordeiro et al. (2025). Briefly, air temperature and relative humidity were recorded with a portable thermo-hygrometric sensor and wind speed with a portable anemometer – LUTRON AM-4214SD–, positioned at pedestrian height (1.5 m) at the study site over the field-campaign period; these in-situ records supplied the boundary atmospheric forcing for the SOLWEIG simulations. During the simulation period, T_a ranged from 21.8 °C (08:00) to 33.7 °C (14:00), RH varied between 21% and 41.9%, and peak global irradiance reached 910.5 W/m², corresponding to an anticyclonic regime over the Iberian Peninsula characterised by persistent clear-sky conditions and high global irradiance, both conducive to outdoor thermal stress (Lau et al., 2015). This date was selected as a representative late-spring, clear-sky day under anticyclonic forcing, coincident with the in-situ field campaign and with a period of effective outdoor occupation by students, in order to capture upper-bound radiative contrasts. A late-spring day was deliberately preferred over a peak-summer one because the Portuguese school calendar runs only until mid-June: the hottest months (July and August) fall outside the period of student occupation. A clear-sky early-May day therefore reflects the most adverse radiative conditions actually experienced by students during the school year and provides an upper-bound estimate of in-use thermal exposure, rather than the absolute annual maximum, which would occur when the schoolyard is unoccupied.

3.2. Computation of mean radiant temperature

In SOLWEIG, T_{mrt} is computed by resolving the radiative environment around a standing person into six directional components (upward, downward, and four horizontal orientations). This enables a physically consistent representation of radiative exchange in urban environments with complex geometry (Lindberg & Grimmond, 2011; Lindberg et al., 2008).

Shortwave radiation is decomposed into direct, diffuse, and surface-reflected components, modulated by the SVF and shadowing effects. Anisotropic features of diffuse sky radiation, including circumsolar enhancement and horizon brightening, are explicitly considered. Longwave radiation includes atmospheric emission and terrestrial emission from surrounding urban surfaces, with surface temperatures estimated from a transient heat-balance formulation based on material thermal properties (Jänicke et al., 2024).

The total absorbed radiant flux density (S_{str}) is then converted into T_{mrt} through the Stefan-Boltzmann inversion:

$$T_{\text{mrt}} = \left(\frac{s_{\text{str}}}{\varepsilon_p \sigma} \right)^{1/4} - 273.15 \quad (1)$$

where σ is the Stefan-Boltzmann constant and ε_p is the emissivity of the human body. The subtraction of 273.15 represents the unit conversion from Kelvin to degrees Celsius, since the radiative computation is performed on the absolute-temperature scale. All computations are conducted at 1.1 m above ground level, representing pedestrian-level exposure conditions (Lindberg et al., 2008).

3.3. Points of Interest and Thermal Stress Assessment

Nine Points of Interest (POI) were selected across the schoolyard to capture the full spectrum of morphological configurations and surface-cover conditions experienced by students throughout the school day, ranging from fully exposed impervious areas to densely shaded vegetated environments. The selected locations and their defining characteristics are described below (Figure 3):

Sports Field – a large open area on the upper terrace, surfaced in asphalt and devoid of vegetation, with no vertical obstructions in its immediate surroundings except the school wall on the east side; **Sports Court** – a hard-surfaced recreational area, also paved in asphalt, more spatially confined than the Sports Field and bordered by low built elements; **Garden** – an inner courtyard composed of grass and low vegetation, enclosed by the school's building mass, with predominantly permeable surfaces; **South Garden** – vegetated area near the southern entrance, combining grass and scattered trees, with a more open configuration than the central courtyard; **Cafeteria** – outdoor area directly adjacent to the cafeteria building, with asphalt-paved surfaces and proximity to vertical façades; **Shed** – location defined by a small built structure with surrounding impermeable ground cover and immediate adjacency to constructed elements; **Orangery** – limestone-paved area adjacent to a row of orange trees with no canopy overlap or direct shading at pedestrian level; **Loquat** – zone dominated by mature *Eriobotrya japonica*, characterised by dense tree cover and limestone pavement; **Linden** – located along the linear arrangement of *Tilia spp.* on the south-east edge of the sports court.



Figure 3. Location of the POI across the José Falcão Secondary School schoolyard, with land-cover context.

Outdoor thermal stress was assessed using the UTCI, computed in SOLWEIG from T_a , T_{mrt} , wind speed, and humidity, following the standard UTCI formulation (Bröde et al., 2012). UTCI values were categorised according to the standard thermal-stress scale: no stress (9-26 °C), moderate heat stress (26-32 °C), strong heat stress (32-38 °C), very strong heat stress (38-46 °C), and extreme heat stress (>46 °C) (Bröde et al., 2012; Di Napoli et al., 2024).

To quantify the relative thermal benefit provided by each POI, daily mean T_{mrt} and UTCI were compared against those of the Sports Field, an open-field site without shading or morphological obstruction that served as the unobstructed reference condition. Negative differences (ΔT_{mrt} , $\Delta UTCI$) indicate a cooling effect relative to fully exposed conditions.

Additionally, ground surface temperature (T_s) was estimated from the SOLWEIG upwelling longwave flux via the Stefan-Boltzmann equation, assuming a ground emissivity of 0.95. T_s values were evaluated against the 55 °C burn-risk threshold for brief cutaneous contact defined by ASTM C1055-20 (ASTM International, 2020), a criterion of particular relevance for schoolyard environments where adolescent activities frequently involve barefoot contact or direct sitting on ground surfaces (Pfautsch & Wujeska-Klaue, 2022).

3.4. Statistical Analysis

All SOLWEIG outputs were extracted at the nine POI, producing a structured dataset of 108 observations (9 POI × 12 hourly time steps). Prior to analysis, data integrity was verified to ensure temporal completeness and internal consistency, with no missing values recorded.

Thermal variables (T_{mrt} , UTCI, T_s) were analysed through descriptive statistics (mean, standard deviation, range) to characterise spatial and temporal variability. Differential thermal indicators (ΔT_{mrt} , $\Delta UTCI$) were computed relative to the Sports Field as the fully exposed reference condition.

A high-resolution sub-daily analysis was performed for the critical period of maximum radiative forcing. The interval between 13:15 and 14:30 was re-simulated at 10-minute temporal resolution for T_{mrt} , in order to capture peak conditions of direct solar incidence and maximum thermal stress, following the methodological approach adopted in previous work (Cordeiro et al., 2025). The resulting high-frequency dataset was used to compute intra-period variability and to quantify cooling performance under peak exposure conditions.

Associations between T_{mrt} and UTCI were evaluated using Pearson's correlation coefficient and ordinary least-squares linear regression. The model was applied to the pooled dataset to assess the sensitivity of thermal stress to radiative forcing under clear-sky conditions. Statistical significance was considered at a confidence level of 95% ($\alpha = 0.05$). Model assumptions – linearity, homoscedasticity, and normality of residuals – were assessed through visual diagnostics. Given the repeated-measures structure of the dataset (multiple POI under identical meteorological forcing), results are interpreted as spatially comparative microclimatic patterns rather than statistically independent samples; mixed-effects or hierarchical modelling was not applied, since the objective is the characterisation of intra-site thermal variability rather than population-level inference.

All statistical processing was conducted using SPSS Statistics v29.0. Spatial data handling and SOLWEIG simulations were performed in QGIS 3.34 LTR with the UMEP plugin (Lindberg et al., 2018); graphical outputs were generated using SPSS Statistics v29.0 (statistical charts and regression plots).

4. Results

4.1. Spatial patterns of mean radiant temperature

The spatial distribution of daily-averaged T_{mrt} across the ESJF schoolyard (Figure 4) reveals a radiative range of nearly 25 °C between the coolest and warmest pixels (27.4-52.3 °C), with a schoolyard-wide mean of 41.5 °C. The northern patches corresponding to small bush gardens were excluded from the analysis due to their limited functional relevance.

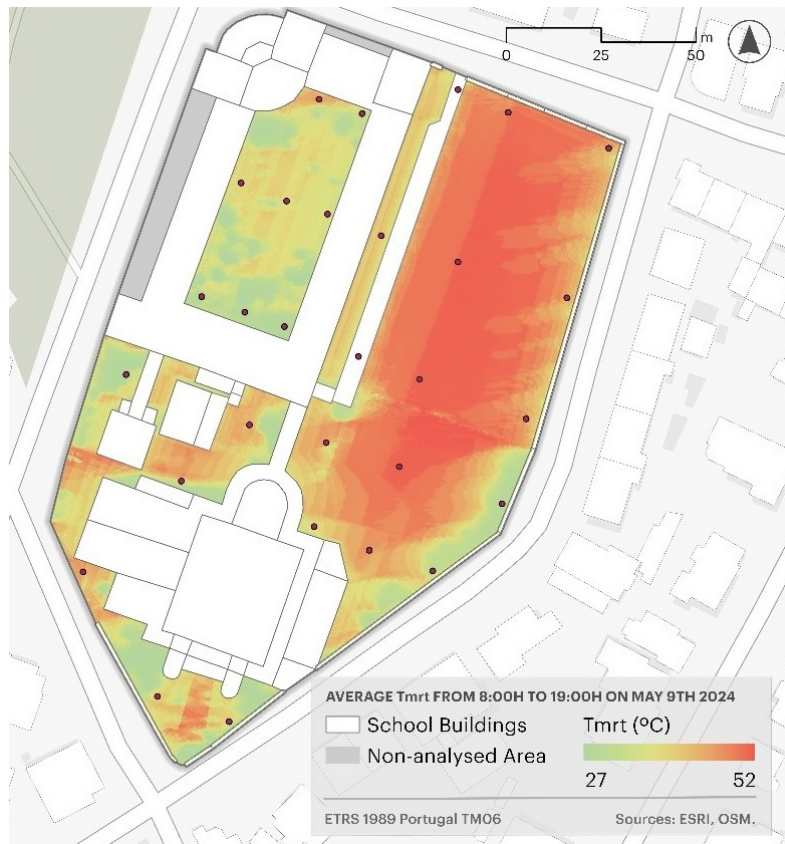


Figure 4. Average T_{mrt} from 08:00 to 19:00 on 9 May 2024 at José Falcão Secondary School.

The most prominent feature is the extensive red-orange zone occupying the eastern sector of the schoolyard, corresponding to the open asphalt recreation field. This area, the only broadly accessible outdoor space for students during break periods, sustains daily mean T_{mrt} values of 49-51 °C at the POI locations (Sports Field: 49.4 °C; Sports Court: 50.7 °C) (Figure 5). The absence of trees, combined with the high solar absorptivity of the asphalt surface, produces persistent radiative exposure from mid-morning through late afternoon, visible as an unbroken warm-toned mass on the map.

In sharp contrast, the north-western vegetated zone – occupied by mature *Eriobotrya japonica* (Loquat), together with the south-eastern stand of *Tilia spp.* – appear as distinctly cooler green patches, with daily mean T_{mrt} of 31.0-31.4 °C at the canopy-shaded POI. This represents a reduction of approximately 18 °C relative to the open field, consistent with over 95% interception of incoming shortwave radiation by the dense deciduous canopy ($\tau = 0.05$). However, this thermally favourable zone is functionally designated as a service area for cafeteria operations and is not accessible to students during the school day.

Between these two extremes, a range of intermediate conditions is visible across the terraced platforms of the schoolyard. The central courtyard, enclosed by the quadrangular building perimeter, exhibits moderate T_{mrt} values (Garden: 37.0 °C), substantially cooler than the open field, reflecting the combined effect of partial vegetation cover and intermittent building shadows. Yet this space, too, remains institutionally off-limits. The transitional zones adjacent to building structures (Cafeteria: 40.3 °C; Shed: 39.8 °C) display the patchy yellow-orange pattern characteristic of spaces where shade coverage is intermittent and dependent on the solar azimuth at each hour.

Linear strips of reduced T_{mrt} are discernible along the northern and western edges of building footprints, corresponding to the cast-shadow corridors generated by the school's multi-storey blocks. These narrow cool bands extend a few metres from the façades and migrate throughout the day with the sun path, offering transient – but not sustained – thermal relief.

The spatial structure of T_{mrt} thus exposes a clear thermal dichotomy within the ESJF schoolyard: the areas of greatest thermal comfort (dense canopy in the north-west, enclosed courtyard) are precisely those to which students have no access, while the only broadly available recreation space (asphalt field) concentrates the highest radiative exposure. The linden trees bordering the small sports field (Linden: 31.4 °C) represent the sole accessible green amenity offering meaningful thermal benefit, but their limited canopy extent is insufficient to serve the wider school community.

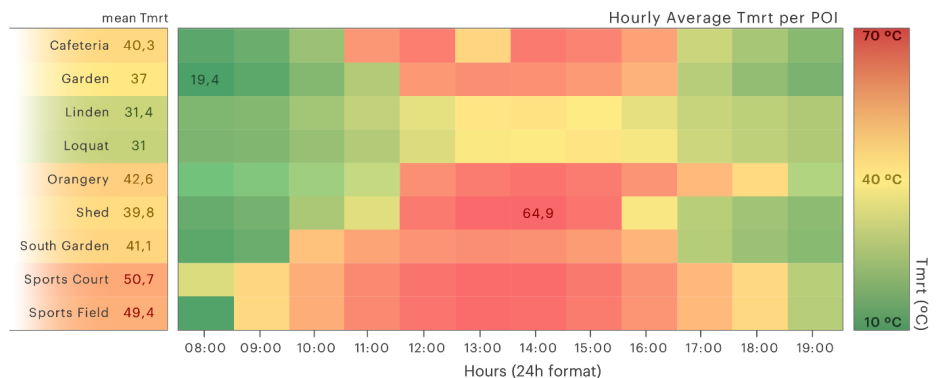


Figure 5. Hourly average T_{mrt} for each Point of Interest (9 POI x 12 h). The maximum value (64.9 °C) was recorded at 14:00 at the Shed location, while the minimum (19.4 °C) occurred at 08:00 in the Garden.

4.2. Diurnal evolution of thermal stress

The hourly evolution of UTCI across the schoolyard (Figure 6) reveals a marked spatial differentiation that emerges with solar elevation. During early morning hours, thermal conditions remain relatively homogeneous, with an inter-site UTCI range of only 4.0 °C at 08:00. As solar radiation intensifies, this range expands rapidly, reaching 7.5 °C by 11:00 and remaining above 7.0 °C until mid-afternoon. By 19:00, the range collapses to 1.7 °C as solar input diminishes. This behaviour confirms that the observed 5.1 °C difference in mean daily UTCI between the coolest (Loquat, 27.2 °C) and warmest (Sports Field, 32.3 °C) locations is largely explained by differences in the radiative environment, while air temperature remains spatially homogeneous across the campus.

Dense canopy sites remain below or near the strong heat-stress threshold (32 °C) for most of the day, whereas open-field locations and the Shed exceed 38 °C during peak hours (13:00-14:00). Two distinct windows of thermally acceptable conditions emerge, early morning (08:00-10:00) and late afternoon (after 17:00), during which all locations remain below the strong-stress threshold.

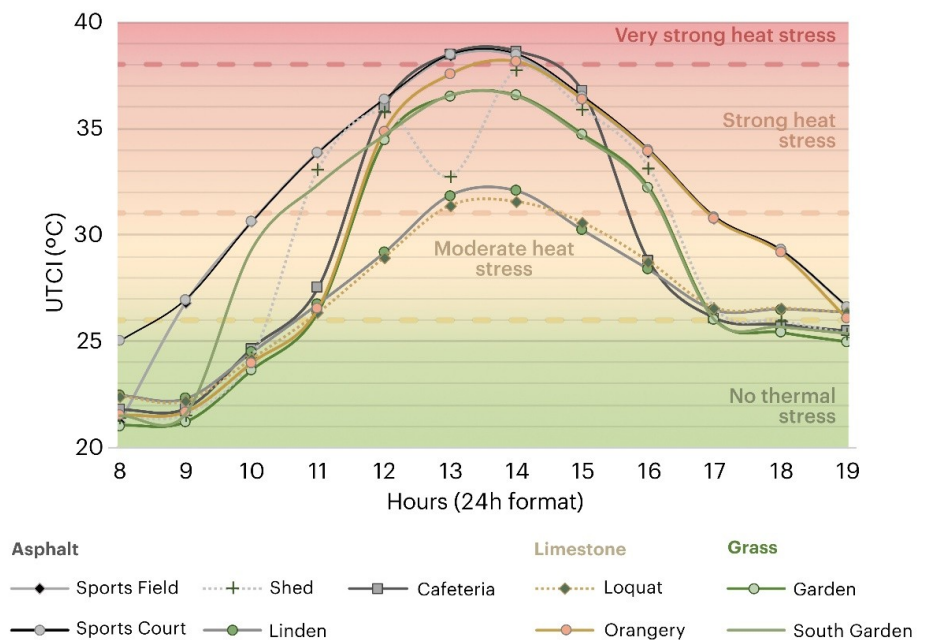


Figure 6. Hourly evolution of UTCI with thermal-stress thresholds at 26, 32, and 38 °C.

4.3. Cumulative thermal stress exposure

The dataset evidences a clear stratification of cumulative thermal-stress exposure across all POI, strongly mediated by canopy cover and spatial configuration. Vegetated sites – particularly Loquat and Linden – demonstrate the most favourable

thermal performance, with a complete absence of strong and very strong heat stress and a concentration of exposure within moderate stress (8-9 hours).

In contrast, open and semi-exposed environments such as the Sports Field, Sports Court, and South Garden exhibit substantially higher cumulative thermal stress. These locations register the highest total exposure (11 hours in the sports areas), including 2 hours of very strong heat stress, alongside extended periods of strong stress.

Anomalous behaviour is observed at the Shed, which, despite a comparatively low SVF (0.42), accumulates 2 hours of very strong stress. This performance is unexpectedly poorer than that of the Garden (SVF = 0.68), which records no very strong stress. This suggests that SVF alone is insufficient to fully explain thermal outcomes; additional factors – such as material thermal properties, ventilation constraints, or surrounding radiative feedback – likely contribute to localised heat accumulation.

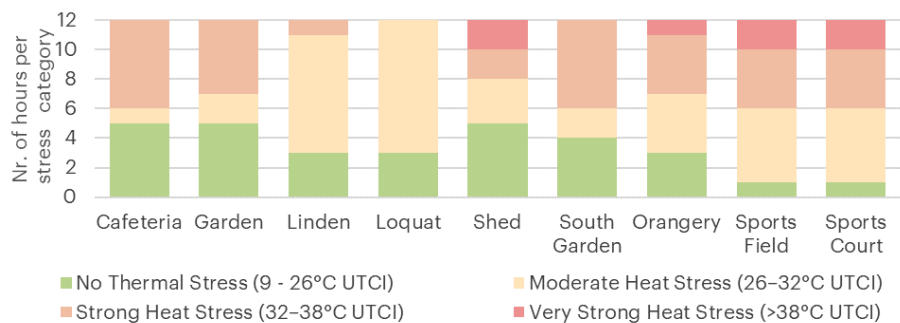


Figure 7. Number of hours per UTCl thermal-stress category at each POI.

4.4. Cooling potential relative to the Sports Field

The cooling potential, expressed as ΔUTCl and ΔT_{mrt} , quantifies the thermal offset of each POI relative to the Sports Field reference during the period of maximum radiative forcing (13:15-14:30 UTC), corresponding to peak incoming global irradiance and the highest sustained thermal stress recorded across the simulation day (Figure 8).

The Loquat and Linden canopies register the largest cooling, with ΔUTCl of -6.51°C and -6.28°C and ΔT_{mrt} of -25.92°C and -25.01°C , consistent with their shared SVFbv of 0.02 and shadow fraction of 0.03, which attenuate over 93% of incoming shortwave radiation and shift thermal stress from “very strong” to “moderate”. The South Garden and Garden present intermediate reductions (ΔUTCl of -1.78°C and -1.73°C ; ΔT_{mrt} of -7.09°C and -6.90°C), attributable to lower surface temperatures over vegetated ground under full sun exposure, while the Cafeteria (-0.23°C) and Orangery (-0.03°C) are effectively indistinguishable from the reference – the latter case confirmed by the identity of SVFbv and SVFb (both 0.54), indicating no additional sky obstruction from the existing tree canopy.

The Sports Court and Shed are the only POI where conditions exceed the open-field reference. The Sports Court records a marginal warming ($+0.16^\circ\text{C UTCl}$;

+0.62 °C T_{mrt}), whereas the Shed presents the highest thermal load in the dataset (+0.38 °C UTCL; +1.50 °C T_{mrt}) accompanied by the maximum Ldown across all sites (517 W/m²) – its overhead structure reduces SVFb to 0.42 but fails to cast effective shade during the study period, instead trapping and re-emitting longwave radiation downward beyond open-sky levels.

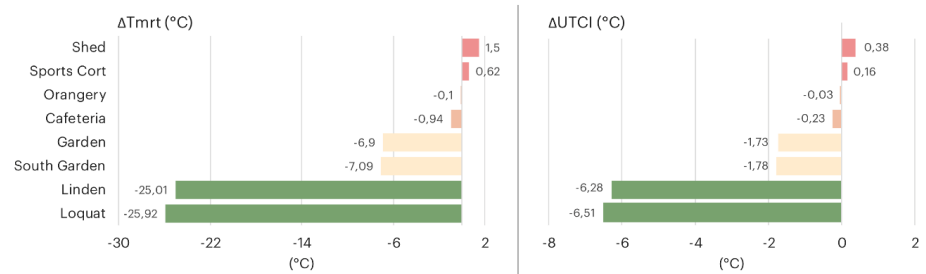


Figure 8. Cooling potential of each POI relative to the Sports Field: Δ UTCI (left) and Δ T_{mrt} (right). Negative values indicate thermal benefit.

4.5. Mean radiant temperature as the main driver of UTCL

The relationship between hourly T_{mrt} and UTCL for the pooled dataset ($n = 108$) reveals a strong and highly significant linear association. The regression model, expressed as $UTCL = 15.43 + 0.349 \cdot T_{mrt}$ ($R^2 = 0.94$, $p < 0.001$), indicates that each 1 °C increase in T_{mrt} corresponds to an approximate rise of 0.35 °C in UTCL. The high correlation coefficient ($r = 0.97$) demonstrates that, under clear-sky conditions, the radiative environment is the primary driver of outdoor thermal stress, whereas air temperature remains spatially homogeneous across all POI at each timestep and thus exerts a comparatively minor influence (Figure 9).

The dispersion of data points along the regression line exhibits a clear spatial structuring. Locations characterised by dense tree canopy, such as the Loquat and Linden sites, form a compact cluster in the lower-left portion of the distribution. These points span a relatively narrow T_{mrt} interval of 14 °C (24–38 °C) and remain below UTCL values of 32 °C. This constrained variability reflects the strong radiative attenuation provided by vegetation, where the interception of more than 95% of incoming shortwave radiation effectively dampens fluctuations in radiant heat load at ground level.

In contrast, exposed areas such as the Sports Field and Sports Court display a much broader distribution, extending across the full range of the regression. These locations experience a T_{mrt} span of approximately 45 °C (20–65 °C), with corresponding UTCL values reaching up to 39 °C. Intermediate environments (Garden, South Garden, Cafeteria, Shed, and Orangery), occupy transitional positions, showing convergence in the early morning and late afternoon, followed by pronounced divergence during periods of peak solar forcing.

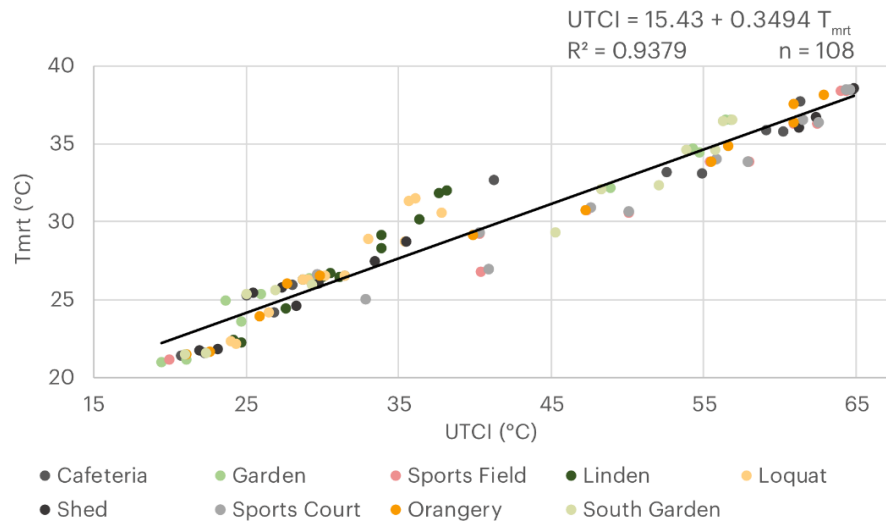


Figure 9. Linear regression between hourly T_{mrt} and UTCI across the nine POI ($n = 108$). Each series represents a single POI. Fitted equation: $UTCI = 15.43 + 0.349 \cdot T_{mrt}$ ($R^2 = 0.9379$).

4.6. Ground surface temperature and contact-burn risk

Across the nine POI, Figure 10 depicts the temporal evolution of estimated ground surface temperature (T_s), obtained from the SOLWEIG-simulated upwelling longwave radiation under a ground emissivity of 0.95. The two open-field sites – Sports Field and Sports Court – exceed the 55°C cutaneous burn-risk threshold defined by ASTM C1055-20 for three consecutive hours between 12:00 and 14:00, peaking at 58.3°C and 58.4°C respectively around 14:00. These surfaces correspond to the asphalt-paved recreation areas where student occupation is concentrated during morning and afternoon break periods.

Among the remaining POI, the Shed approaches but does not exceed the threshold (peak $T_s = 52.6^\circ\text{C}$), followed by the Orangery (49.8°C) and the Cafeteria (48.7°C). Garden and South Garden remain below 40°C, while dense canopy surfaces (Loquat: 36.2°C; Linden: 35.3°C) stay below 37°C throughout the day, with surface temperatures closely tracking the ambient air temperature. The contrast between extremes is pronounced: at 14:00, the ground beneath the Loquat canopy is 22°C cooler than the asphalt at the Sports Court, a direct consequence of near-total shortwave interception.

The exceedance of the burn-risk threshold in the most heavily used outdoor areas introduces a safety concern that extends beyond thermal comfort. At the recorded surface temperatures, brief barefoot contact or direct sitting on the ground may produce first-degree burns within seconds of exposure (Pfautsch & Wujeska-Klaue, 2022). This risk is compounded by the behavioural patterns typical of the school population: adolescents frequently sit directly on ground surfaces during breaks and may engage in physical activities with exposed skin in contact with the pavement.

The spatial coincidence between the highest T_s values and the primary student recreation zone reinforces the case for targeted shading interventions in this sector of the schoolyard.

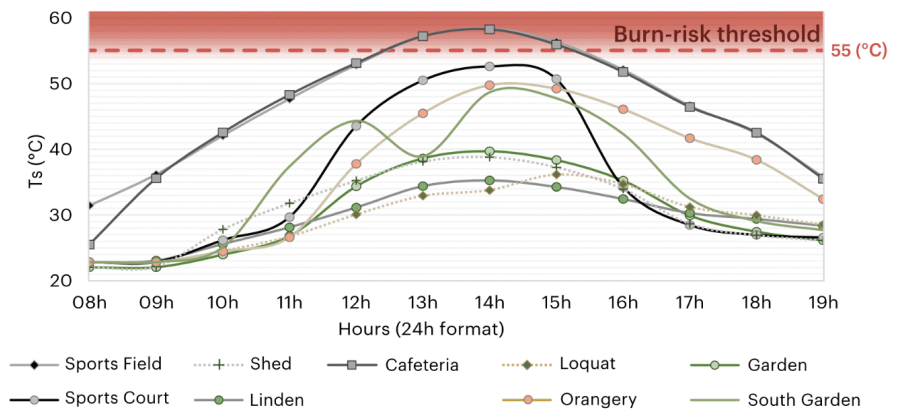


Figure 10. Hourly estimated ground surface temperature across the nine POI. The dashed horizontal line indicates the 55 °C burn-risk threshold for brief cutaneous contact (ASTM C1055-20). Sports Field and Sports Court exceed this threshold for three hours (12:00-14:00).

5. Discussion

5.1. Radiation, not air temperature, drives schoolyard heat stress

The strongest and most consistent finding across the ESJF dataset is the dominance of the radiative environment over air temperature as a driver of pedestrian-level heat stress. The pooled regression $UTCI = 15.43 + 0.349 \cdot T_{mrt}$ ($R^2 = 0.94$; $r = 0.97$) indicates that more than nine tenths of the inter-site variability in UTCI is explained by T_{mrt} alone, while T_a and RH, quasi-uniform across the campus at each timestep, account for the remaining baseline. This empirical decomposition aligns with the broader biometeorological consensus that, under clear, calm summer days, T_{mrt} is the leading meteorological driver of human thermal stress (Höppe, 1999; Kántor & Unger, 2011; Lai et al., 2020) and confirms that T_a is an inadequate substitute for T_{mrt} in the assessment of outdoor comfort (Walikewitz et al., 2015).

This result has direct methodological implications for the previous Coimbra schoolyard study (Cordeiro et al., 2025), which reported a maximum spatial difference of approximately 5 °C in air temperature between unshaded asphalt and tree-shaded zones at ESJF. The present SOLWEIG-based assessment shows that this T_a range, while informative as a boundary condition, captures only a fraction of the actual radiative load to which students are exposed: at 13:15-14:30, the radiative offset (ΔT_{mrt}) between the Loquat canopy and the Sports Field reaches -25.9 °C, which translates into a UTCI offset of -6.5 °C – well above the magnitude that air-temperature measurements alone would suggest. The two methodologies are

therefore not redundant but complementary: in-situ Ta and RH measurements characterise the boundary atmospheric forcing, while modelled T_{mrt} resolves the spatial heterogeneity that ultimately governs perceived comfort. This dual-layer approach reinforces and physically grounds the perception-based diagnosis previously reported by the school community (Cordeiro et al., 2025), in which students consistently described the asphalt yard as “unbearable” during midday, despite Ta differences of only a few degrees Celsius.

5.2. The paradox of accessibility: where comfort exists and where students are

The spatial structure of T_{mrt} across ESJF reveals a striking and educationally consequential paradox. The schoolyard contains three thermally favourable environments: the Loquat canopy (daily mean $T_{mrt} \approx 31.0^\circ\text{C}$); the Linden grove ($\approx 31.4^\circ\text{C}$); and the central Garden ($\approx 37.0^\circ\text{C}$); yet two of the three are functionally inaccessible to students during ordinary school hours. The only broadly accessible outdoor space, the asphalt sports field, simultaneously concentrates the highest radiative loads ($49\text{--}51^\circ\text{C}$ daily mean T_{mrt}) and the highest cumulative duration of strong-to-very-strong heat stress (11 hours, including 2 hours above the 38°C UTCI threshold). The Linden stand, the only accessible green amenity, offers genuine thermal benefit but is too small in canopy extent to serve the entire school population during recess.

This pattern was already qualitatively identified in the school-community survey reported by Cordeiro et al. (2025), in which respondents described problem zones (cafeteria, both sports fields and the shed area) as “too hot in summer” and explicitly flagged the locked or restricted green areas (Garden and South Garden) as “missed opportunities to improve both comfort and aesthetics”. The present SOLWEIG simulations physically confirm and quantify this perception: the institutional decision to restrict access to the most thermally comfortable areas effectively forces students into the most radiatively hostile sector of the campus during the hottest hours of the day. The mismatch between green-space availability and green-space accessibility emerges, therefore, as a key shortcoming in the spatial organisation of the ESJF outdoor environment: a finding that resonates with the “gap between appreciation in theory and actual usage in practice” reported in Mediterranean school playgrounds more broadly (Sanz-Mas et al., 2025) and with the access-equity dimension increasingly emphasised in green-schoolyard scholarship (Wolf et al., 2024).

5.3. Vegetation performance: canopy density, species, and the limits of evergreens

The cooling hierarchy retrieved by the model is consistent with the morphological and physiological traits of the dominant species. The two best-performing POI – Loquat and Linden – combine high canopy density (shadow fraction ≈ 0.97) with deciduous broadleaved foliage, which offers near-total shortwave interception in summer and seasonal reversibility in winter. Both *Eriobotrya japonica* and *Tilia spp.* are well documented as effective Mediterranean shade species: the former combines

moderate transpiration with very dense, persistent foliage during the warm season (Rana et al., 2019), while the latter is among the most extensively validated urban-shade taxa, with demonstrated reductions in pedestrian-level air temperature of up to 0.85 °C and surface-temperature reductions of up to 20 °C under full canopy in Mediterranean and Central-European cities (Massetti et al., 2019; Rahman et al., 2017; Stratópoulos et al., 2024).

By contrast, the Orangery POI, a limestone-paved area positioned next to (rather than beneath) a row of young orange trees, registers a near-zero ΔUTCI (-0.03 °C) and a daily mean T_{mrt} virtually identical to the open Sports Field. The identity of SVFb and SVFbv (both 0.54) confirms that, at the assessed point, no canopy element interposes itself between the pedestrian plane and the sky: the orange trees are still young, with small crowns whose lateral extent does not yet reach the sampling location, and the resulting radiative environment is therefore effectively that of an open paved surface. This finding does not concern the cooling potential of mature orange trees per se, well documented in Mediterranean orchard and garden settings (Rana et al., 2019), but rather the temporal mismatch between newly established plantings and the radiative service they are intended to provide. Comparative reviews emphasise that pedestrian-level cooling efficacy is governed by structural traits such as canopy diameter, leaf area density, and the lateral offset between the trunk and the area to be shaded, rather than by species presence alone (Francini et al., 2023; Rötzer et al., 2024; Stratópoulos et al., 2024).

For Mediterranean school playgrounds, this implies that vegetation audits must explicitly evaluate current canopy geometry at pedestrian scale and incorporate the time horizon required for plantings to deliver effective shade, a delay of 5-15 years for most broadleaved species (Li et al., 2024). In the specific case of ESJF, the Orangery POI thus signals a planting that is functionally promising but operationally premature: the trees will, in time, contribute to the radiative budget, but at present they do not modify pedestrian-level exposure and cannot be counted as an active mitigation element in the schoolyard.

5.4. Ground surface temperatures and the cutaneous burn risk

The simulated T_s profiles add a public-health dimension that is absent from purely T_a - or UTCI-based analyses. The Sports Field and Sports Court, the two surfaces over which student recreation is effectively concentrated, exceed the 55 °C ASTM C1055-20 cutaneous burn-risk threshold for three consecutive hours (12:00-14:00). At these temperatures, contact-burn injuries can occur within seconds of brief barefoot contact or direct sitting on the ground (Pfautsch & Wujeska-Klaue, 2022). The fact that the threshold is breached on a representative warm spring day strongly suggests that the threshold is exceeded across a substantial fraction of the school year, particularly given the documented intensification and lengthening of Iberian heatwaves (Bento et al., 2025; EUMETSAT, 2026; Sánchez-Benítez et al., 2025).

On the other hand, surfaces beneath the Loquat and Linden canopies remain below 37 °C throughout the day, tracking ambient T_a closely. The 22 °C T_s differential

at 14:00 between the Sports Court and the Loquat canopy quantifies, in absolute physical terms, the protective value of dense deciduous shade. This finding directly extends the Cordeiro et al. (2025) recommendation to expand tree cover in “high-exposure areas” by attaching to it a measurable safety justification: the question is no longer only one of comfort but of avoiding preventable, behaviourally plausible burn injuries among adolescents. Independent measurements in Parisian, Barcelonian, and North-American school playgrounds have reported analogous threshold exceedances, motivating large-scale asphalt-removal programmes in Los Angeles, Philadelphia, and the Trust for Public Land partner districts (Sanz-Mas et al., 2025; Vanos et al., 2024).

5.5. Beyond the simple SVF metric: morphology and longwave traps

An important methodological insight emerges from the anomalous behaviour of the Shed. Despite a comparatively low SVF (0.42) – which would intuitively suggest substantial sky obstruction and thus radiative protection – the location accumulates 2 hours of very strong heat stress and registers the highest L_{down} in the entire dataset (517 W/m²). The overhead structure is not a vegetated canopy but an opaque, heat-storing built element that, while reducing SVF, simultaneously becomes a strong longwave emitter that radiates downward onto the underlying paved surface. This produces a localised longwave “trap” in which the absorbed shortwave is partially re-emitted as longwave radiation incident on pedestrians at close range.

This result echoes the cautionary evidence accumulating in the urban-microclimate literature that SVF, while a useful first-order morphological proxy, is insufficient on its own to predict thermal outcomes (Ge et al., 2026; Lai et al., 2020). Material properties (albedo, emissivity, thermal admittance), ventilation regime, and the horizontal/vertical balance of obstructing elements jointly determine the radiative balance experienced at human level. From a practical standpoint, this implies that the addition of opaque shade structures to school playgrounds must be carefully designed – preferably with reflective upper surfaces, high-albedo materials, ventilation gaps, or vegetated covers (e.g., pergolas with climbing plants) – to avoid replacing one thermal problem with another. Only a hybrid green-grey strategy avoids the longwave-trapping pitfall illustrated here by the Shed.

5.6. Implications for climate-resilient retrofitting of Mediterranean school playgrounds

Bringing the present results together with the perception- and air-temperature-based diagnosis of Cordeiro et al. (2025) yields a coherent, evidence-based portfolio of interventions for ESJF and, by extension, for comparable 20th-century Portuguese secondary schools.

- Open the existing thermal refugia. One of the most cost-effective immediate measures at this site is administrative rather than physical: re-evaluating the access restrictions to the central Garden and the Loquat zone could deliver thermally

tolerable recreational space ($UTCI < 32^{\circ}\text{C}$) to the entire student body without any physical retrofit.

- Targeted asphalt-to-canopy conversion in the eastern recreation sector. Strategically planted clusters of broadleaved deciduous trees (e.g., *Tilia cordata*, *Celtis australis*, *Platanus hispanica*) along the eastern edge of the Sports Field and around the Sports Court would directly address the burn-risk hotspots. Recent scenario simulations indicate that converting impervious to canopy cover yields among the highest aggregated UTCI reductions of any urban greening strategy (Li et al., 2024; Yi et al., 2025).
- Cool-pavement and unsealing measures as transitional actions. While newly planted trees take 5-15 years to provide effective shade, immediate relief can be obtained through high-albedo pavement coatings or, where structurally feasible, full unsealing and replacement with permeable, biosourced surfaces. Recent monitored interventions in the OASIS Paris programme report T_s reductions of $10\text{--}15^{\circ}\text{C}$ and meaningful improvements in pedestrian heat stress under such strategies (Bouyer et al., 2024).
- Hybrid shade structures, not opaque sheds. Following the longwave-trap evidence at the Shed POI, any built-shade addition should preferentially take the form of vegetated pergolas, light-permeable canopies, or tensile sails with high upper albedo, ventilated above to dissipate stored longwave radiation.
- Connection with the broader urban green network. As noted in Cordeiro et al. (2025), ESJF lies within a few hundred metres of the Jardim da Sereia, the “Liceu” garden, also designed by Carlos Ramos along with ESJF, and the Botanical Garden of the University of Coimbra. Aligning species selection and planting strategy with these adjacent green elements would extend cooling beyond the campus, support pollinator and bird connectivity, and contribute to citywide UHI mitigation in line with European Green Deal targets.
- Co-design and maintenance. Technical interventions deliver durable benefits only when paired with stewardship. Consistent with the participatory framework of Cordeiro et al. (2025) and Sanz-Mas et al. (2025), the integration of student-led “green brigades”, garden-based curriculum modules, and routine pruning protocols would protect the radiative performance of canopies over time and convert the schoolyard into a living laboratory for climate adaptation.

5.7. Limitations and future research

Several limitations should be acknowledged. First, the simulations are based on a single representative clear-sky day (9 May 2024), selected to maximise radiative contrast under anticyclonic conditions; the results should therefore be read as indicative of upper-bound spatial gradients rather than annual averages. Multi-day or seasonal simulations would refine the estimation of cumulative exposure. Second, SOLWEIG, despite its physical rigour, simplifies the representation of canopy transmissivity and does not explicitly resolve transpirational latent-heat fluxes from individual trees,

which can lead to conservative cooling estimates relative to coupled canopy-energy-balance models (Gholami et al., 2024). Third, T_s values were derived from upwelling longwave under a fixed emissivity assumption; field validation with infrared thermography would strengthen the burn-risk diagnosis. Fourth, although the regression $UTCI = 15.43 + 0.349 \cdot T_{mrt}$ is robust across the present dataset, its slope and intercept depend on the prevailing Ta-RH-wind regime and should not be transposed mechanically to other Mediterranean sites.

Future work should pursue three complementary directions. First, longitudinal multi-day SOLWEIG runs forced by ERA5 or Copernicus C3S reanalysis would quantify the annual fraction of school hours spent above each UTCI threshold under current and projected climates, building on the recent CMIP6/EURO-CORDEX projections for the Iberian Peninsula (Bento et al., 2025; Sánchez-Benítez et al., 2025). Second, scenario simulations of the proposed interventions (canopy expansion, asphalt unsealing, pergolas with climbers) would allow ex-ante evaluation of their cooling potential and inform prioritisation, in line with the “before-after” modelling logic now standard in the field (Yi et al., 2025). Third, coupling these radiative outputs with student physiological measurements and behavioural mapping would close the loop between modelled thermal exposure, perceived comfort, and observed activity patterns: research agenda explicitly called for in recent reviews of children-specific outdoor thermal comfort (Vanos, 2015; Zheng et al., 2024).

5.8. Theoretical contribution: towards a geographical reading of the urban microclimate

Despite the empirical robustness of the results, this study advances a set of theoretical contributions relevant to urban physical geography and to climatology applied to spatial planning, moving beyond the mere quantification of microclimatic patterns.

First, the findings consolidate the notion that the radiative environment is the primary driver of thermal stress in outdoor urban spaces, particularly under clear-sky Mediterranean conditions. Demonstrating this relationship at a micro-spatial scale (0.3 m), within a specific functional context such as a schoolyard, enables a scalar reinterpretation of the Urban Heat Island (UHI). Traditionally analysed at the urban or mesoscale, the UHI is here expressed as a hyper-local and functional phenomenon, with substantial thermal gradients occurring within a single institutional setting.

This leads to the formulation of the concept of a functional micro-urban heat island; understood as a localized thermal system whose intensity depends not only on urban morphology but also on the spatial organization of uses and accessibility regimes. In the case examined, the concentration of users in the most exposed areas amplifies the effective thermal load experienced, highlighting that thermal comfort is shaped not only by biophysical factors but also by institutional and behavioural dynamics.

Within this framework, the study introduces the concept of a thermal accessibility paradox, defined as the mismatch between the physical availability of thermally favourable spaces and their actual use. This paradox suggests that the effectiveness

of nature-based solutions does not depend solely on their physical presence, but also on their integration into patterns of use and spatial governance.

A third contribution emerges from the analysis of urban vegetation. The results show that the mere presence of trees does not guarantee thermal benefits; rather, what is decisive is the effective canopy geometry at pedestrian level. This supports a distinction between the structural presence and the radiative functionality of vegetation, emphasizing the importance of canopy maturity, density, and spatial configuration in delivering ecosystem services. This perspective introduces a temporal dimension that is often overlooked in green infrastructure planning.

Furthermore, the thermal behaviour of built structures highlights the limitations of the SVF as a standalone indicator of thermal comfort. While useful as a morphological metric, SVF does not adequately capture the effects of longwave radiation re-emission from built surfaces. A more comprehensive approach is therefore required, integrating urban geometry, material properties, and energy balance.

Finally, the study contributes to the consolidation of what may be termed an operational urban climatology, in which microclimatic modelling evolves from a diagnostic tool into a direct support instrument for spatial planning. By translating complex physical variables (T_{mrt} , UTCI, T_s) into metrics relevant to well-being and safety (such as burn risk and thermal stress thresholds), the study reinforces the link between scientific knowledge and territorial decision-making.

6. Conclusions

This study applied the SOLWEIG microclimatic modelling framework to evaluate outdoor thermal comfort and radiative stress at a Mediterranean secondary schoolyard (Escola Secundária José Falcão, Coimbra) on a representative spring day, integrating high-resolution LiDAR-derived morphology, in-situ meteorological forcing, and physically based simulations of T_{mrt} , UTCI, and ground surface temperature.

Three principal findings emerge. (i) Under clear-sky conditions, the radiative environment – captured by T_{mrt} – explains 94% of the spatial variability in UTCI across the schoolyard, whereas air temperature is quasi-uniform; in-situ T_a measurements are therefore necessary as boundary forcing but insufficient to characterise pedestrian-level heat exposure. (ii) The schoolyard exhibits a strong thermal dichotomy: the most thermally favourable areas (dense Loquat and Linden canopies, central Garden) are precisely those that institutional policy renders inaccessible to students, who are thereby concentrated in the most radiatively hostile sector of the campus; the asphalt Sports Field and Sports Court accumulate up to 11 hours of strong-to-very-strong heat stress and exceed the 55 °C ASTM C1055-20 cutaneous burn-risk threshold for three consecutive hours around midday. (iii) Cooling efficacy is governed by mature canopy size and pedestrian-level shadow fraction, not by tree presence alone; the Orangery POI, where young orange trees have not yet developed crowns large enough to shade the adjacent paved area, illustrates the temporal gap between planting and effective radiative service, while the Shed shows how opaque built-shade structures can paradoxically increase downward longwave loading.

Methodologically, the study demonstrates the added value of coupling perception- and air-temperature-based assessments – such as those reported in Cordeiro et al. (2025) for the same school – with physically based radiative modelling. The two layers are not redundant but complementary: surveys and T_a measurements diagnose the boundary conditions and the user experience, while SOLWEIG resolves the underlying radiative mechanisms with metric-scale spatial precision. Together, they provide a robust, mechanistically grounded basis for designing climate-adaptive retrofits.

Practically, the results support a hybrid green-grey adaptation strategy combining (a) the immediate opening of existing thermal refugia, (b) targeted asphalt-to-canopy conversion in the eastern recreation sector with broadleaved deciduous species, (c) cool-pavement coatings as transitional measures, (d) vegetated shade structures designed to avoid longwave traps, and (e) integration with Coimbra's broader green-infrastructure network. Implemented through participatory co-design and supported by stewardship programmes, such interventions can simultaneously address comfort, safety, well-being, and educational mission – reinforcing the role of school playgrounds as nodes of urban climate resilience and as living laboratories for sustainability in line with SDG 3, 4, 11, and 13 and the European Green Deal.

References

- Antoniadis, D., Katsoulas, N., & Papanastasiou, D. K. (2020). Thermal environment of urban schoolyards: Current and future design with respect to children's thermal comfort. *Atmosphere*, 11(11), 1144. <https://doi.org/10.3390/atmos11111144>
- Aroso, S., Cordeiro, A., & Lameiras, J. (2026). Green spaces: Urban heat island mitigation and building climate resilience in coimbra. *Atmosphere*, 17(3), 284. <https://doi.org/10.3390/atmos17030284>
- ASTM International. (2020). ASTM C1055-20: Standard guide for heated system surface conditions that produce contact burn injuries. *ASTM International*. <https://www.astm.org/c1055-20.html>
- Bento, V. A., Lima, D. C. A., Santos, L. L., et al. (2025). Projections of population exposure to hot and dry events in the end of the 21st century on the iberian peninsula. *Frontiers in Climate*, 7, 1519880. <https://doi.org/10.3389/fclim.2025.1519880>
- Bouyer, J., Musy, M., Demazeux, J., & Dunand, F. (2024). Thermal and microclimatic behaviour of OASIS schoolyard paving materials. *arXiv preprint arXiv:2408.08317*. <https://arxiv.org/abs/2408.08317>
- Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Tinz, B., & Havenith, G. (2012). Deriving the operational procedure for the universal thermal climate index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 56(3), 481–494. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1>
- Coelho, C., Cordeiro, A., Alcoforado, L., & Moniz, G. C. (2022). Survey on student school spaces: An inclusive design tool for a better school. *Buildings*, 12(4), 392. <https://doi.org/10.3390/buildings12040392>
- Cordeiro, A., Ornelas, A., & Lameiras, J. (2023). The thermal regulator role of urban green spaces: The case of coimbra (portugal). *Forests*, 14(12), 2351. <https://doi.org/10.3390/f14122351>

- Cordeiro, A. M. R., Fialho, J., Coelho, C., & Lameiras, J. M. (2025). Greening schools for climate resilience and sustainable co-design: A case study of thermal comfort in coimbra, portugal. *Land*, 14(10), 1985. <https://doi.org/10.3390/land14101985>
- Cos, J., Doblas-Reyes, F., Jury, M., Marcos, R., Bretón-López, P. A., & Lledo, L. (2024). Recent heatwaves as a prelude to climate extremes in the western mediterranean region. *npj Climate and Atmospheric Science*, 7, 218. <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00763-6>
- DGT. (2023). Ortofotomapas digitais de portugal continental (resolução 0,3 m) [Data set. Direção-Geral do Território]. <https://www.dgterritorio.gov.pt/>
- Di Napoli, C., Hogan, R. J., & Pappenberger, F. (2024). Mean radiant temperature from global-scale numerical weather prediction models. *International Journal of Biometeorology*, 68(3), 547–559. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02597-y>
- EUMETSAT. (2026, April). Europe in 2025: Extremes from the arctic circle to the mediterranean. *European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*. <https://www.eumetsat.int/features/europe-2025-extremes-arctic-circle-mediterranean>
- Ferreira, D. B. (2005). O ambiente climático. In C. A. Medeiros (Ed.), *Geografia de portugal: Ambiente físico* (Vol. 1). Círculo de Leitores.
- Francini, A., Toscano, S., Ferrante, A., & Romano, D. (2023). Method for selecting ornamental species for different shading intensity in urban green spaces. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1271341. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1271341>
- Ge, X., Wang, Y., Liu, J., & Chen, L. (2026). Passive climate adaptation of heritage arcades: Field evidence on the geometry-radiation-thermal comfort chain and orientation effects. *Buildings*, 16(1), 201. <https://doi.org/10.3390/buildings16010201>
- Gholami, M., Barbaresi, A., Tassinari, P., & Torreggiani, D. (2024). A python-based mean radiant temperature and UTCI calculation approach for thermal stress assessment. *Building and Environment*, 248, 111054. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.111054>
- Höppe, P. (1999). The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43(2), 71–75. <https://doi.org/10.1007/s004840050118>
- Huld, T., Müller, R., & Gambardella, A. (2012). A new solar radiation database for estimating PV performance in europe and africa. *Solar Energy*, 86(6), 1803–1815. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.03.006>
- IPCC. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report. contribution of working groups i, ii and iii to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (Core Writing Team, H. Lee, & J. Romero, Eds.; tech. rep.). IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Jänicke, B., Meier, F., Lindberg, F., Schubert, S., & Scherer, D. (2024). Towards a more realistic representation of urban surface temperatures in microclimate models. *Urban Climate*, 53, 101803. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101803>
- Jézéquel, A., Vautard, R., & Yiou, P. (2025). Extreme event attribution in the mediterranean. *International Journal of Climatology*, 45(2), e8799. <https://doi.org/10.1002/joc.8799>
- Kántor, N., & Unger, J. (2011). The most problematic variable in the course of human-biometeorological comfort assessment - the mean radiant temperature. *Central European Journal of Geosciences*, 3(1), 90–100. <https://doi.org/10.2478/s13533-011-0010-x>

- Konarska, J., Lindberg, F., Larsson, A., Thorsson, S., & Holmer, B. (2024). Transmissivity of solar radiation through crowns of single urban trees and the impact on radiative load and thermal comfort. *Theoretical and Applied Climatology*, 156, 197–215. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-04999-3>
- Lai, D., Lian, Z., Liu, W., Guo, C., Liu, W., Liu, K., & Chen, Q. (2020). A comprehensive review of thermal comfort studies in urban open spaces. *The Science of the Total Environment*, 742, 140092. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140092>
- Li, H., Zhao, Y., Wang, C., Ürge-Vorsatz, D., Carmeliet, J., & Bardhan, R. (2024). Cooling efficacy of trees across cities is determined by background climate, urban morphology, and tree trait. *Communications Earth & Environment*, 5(1), 754. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01908-4>
- Lima, D. C. A., Bento, V. A., Lemos, G., Nogueira, M., & Soares, P. M. M. (2023). A multi-variable constrained ensemble of regional climate projections under multi-scenarios for Portugal – part ii: Sectorial climate indices. *Climate Services*, 30, 100377. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100377>
- Lindberg, F., & Grimmond, C. S. B. (2011). The influence of vegetation and building morphology on shadow patterns and mean radiant temperatures in urban areas: Model development and evaluation. *Theoretical and Applied Climatology*, 105(3), 311–323. <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0382-8>
- Lindberg, F., Grimmond, C. S. B., Gabey, A., Huang, B., Kent, C. W., Sun, T., Theeuwes, N. E., Järvi, L., Ward, H. C., Capel-Timms, I., Chang, Y., Jonsson, P., Krave, N., Liu, D., Meyer, D., Olofson, K. F. G., Tan, J., Wästberg, D., Xue, L., & Zhang, Z. (2018). Urban multi-scale environmental predictor (UMEP): An integrated tool for city-based climate services. *Environmental Modelling & Software*, 99, 70–87. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.09.020>
- Lindberg, F., Holmer, B., & Thorsson, S. (2008). SOLWEIG 1.0 - modelling spatial variations of 3d radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings. *International Journal of Biometeorology*, 52(7), 697–713. <https://doi.org/10.1007/s00484-008-0162-7>
- Massetti, L., Petralli, M., Napoli, M., Brandani, G., Orlandini, S., & Pearlmutter, D. (2019). Effects of deciduous shade trees on surface temperature and pedestrian thermal stress during summer and autumn. *International Journal of Biometeorology*, 63(4), 467–479. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01679-0>
- MedECC. (2020). *Climate and environmental change in the mediterranean basin - current situation and risks for the future. first mediterranean assessment report* (W. Cramer, J. Guiot, & K. Marini, Eds.; tech. rep.). Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP. <https://www.medecc.org/mececc-reports/climate-and-environmental-change-in-the-mediterranean-basin-current-situation-and-risks-for-the-future-1st-mediterranean-assessment-report/>
- Moniz, G. C. (2007). *Arquitetura e instrução: Projecto moderno de liceu (1836-1936)*. Edições Almedina/EDARQ.
- Nouri, A. S., Costa, J. P., Santamouris, M., & Matzarakis, A. (2024). Approaches to outdoor thermal comfort thresholds through public space design: A review. *Atmosphere*, 15(7), 783. <https://doi.org/10.3390/atmos15070783>
- Nóvoa, A. S. (2003). *Liceus de Portugal: Histórias, arquivos, memórias*. Edições Asa.
- Pfautsch, S., & Wujeska-Klaue, A. (2022). Hot playgrounds: A systematic review of the surface temperatures of playground equipment. *Building and Environment*, 219, 109229. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109229>

- Pioppi, B., Pisello, A. L., Ramamurthy, P., & Salvati, A. (2024). Bridging outdoor thermal comfort modelling and field campaigns: A wearable-sensor approach in mediterranean urban environments. *Building and Environment*, 248, 111107. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.111107>
- Presidência do Conselho de Ministros. (2007). Resolução do conselho de ministros n.º 1/2007, de 3 de janeiro: Aprova o programa de modernização do parque escolar destinado ao ensino secundário.
- Rahman, M. A., Moser, A., Rötzer, T., & Pauleit, S. (2017). Microclimatic differences and their influence on transpirational cooling of *tilia cordata* in two contrasting street canyons in munich, germany. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 443–456. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.10.006>
- Rana, G., Pellegrino, A., Ferrara, R. M., & Martinelli, N. (2019). Tree transpiration in a multi-species mediterranean garden. *Agricultural and Forest Meteorology*, 280, 107767. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107767>
- Riaz, H., Riaz, A., Iqbal, A., Amina, N., & Imtiaz, S. (2025). A review on significance of thermal comfort in educational facilities. *Building Engineering*, 3(2), 2100. <https://doi.org/10.59400/be2100>
- Rötzer, T., Moser-Reischl, A., Rahman, M. A., Hartmann, C., Paeth, H., Pauleit, S., & Pretzsch, H. (2024). Within canopy temperature differences and cooling ability of urban trees grown under contrasting site conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 227, 105943. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105943>
- Sánchez-Benítez, A., Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & Trigo, R. M. (2025). Heat and cold wave intensity and spatial extent on the iberian peninsula: Future climate projections (2050-2095). *Climate Dynamics*, 63, 1–22. <https://doi.org/10.1007/s00382-025-07699-4>
- Santamouris, M., Synnefa, A., & Karlessi, T. (2011). Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. *Solar Energy*, 85(12), 3085–3102. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.023>
- Sanz-Mas, M., Continente, X., Brugueras, S., Marí-Dell’Olmo, M., Oliveras, L., & López, M. J. (2025). Evaluating the effect of green, blue, and gray measures for climate change adaptation on children’s well-being in schoolyards in barcelona. *Landscape and Urban Planning*, 253, 105206. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2024.105206>
- Silva, T., Lopes, A., Vasconcelos, J., Chokhachian, A., Wagenfeld, M., & Santucci, D. (2024). Thermal stress and comfort assessment in urban areas using copernicus climate change service ERA5 reanalysis and collected microclimatic data. *International Journal of Biometeorology*, 68(5), 949–963. <https://doi.org/10.1007/s00484-024-02635-3>
- Speak, A. F., Montagnani, L., Wellstein, C., & Zerbe, S. (2020). The influence of tree traits on urban ground surface shade cooling. *Landscape and Urban Planning*, 197, 103748. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103748>
- Stratópoulos, L. M. F., Zhang, C., Häberle, K. H., Pauleit, S., Duthweiler, S., Pretzsch, H., & Rötzer, T. (2024). Tree species and size matter: Cooling and shading effects of urban trees during heatwaves in a temperate climate. *Urban Forestry & Urban Greening*, 95, 128293. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128293>
- UMEP-dev. (2025). SOLWEIG: Solar and longwave environmental irradiance geometry - documentation (2025 release). *UMEP Development Team*. <https://umep-dev.github.io/solweig/>

- Vanos, J. K. (2015). Children's health and vulnerability in outdoor microclimates: A comprehensive review. *Environment International*, 76, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.016>
- Vanos, J. K., Middel, A., Poletti, M. N., & Selover, N. J. (2024). Outdoor thermal comfort, surface temperatures, and heat-mitigation potential of school playgrounds in hot-arid climates. *Building and Environment*, 251, 111201. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111201>
- Walikewitz, N., Jänicke, B., Langner, M., Meier, F., & Endlicher, W. (2015). The difference between the mean radiant temperature and the air temperature within indoor environments: A case study during summer conditions. *Building and Environment*, 84, 151–161. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.11.004>
- Wolf, K. L., Senturia, K., Simmons, C., Hafferty, K., Faino, A. V., Garrett, K. A., & Tandon, P. S. (2024). Participatory design for community schoolyards: Mixed methods reveal positive engagement despite measures limitations. *Ecopsychology*, 16(2), 113–127. <https://doi.org/10.1089/eco.2023.0075>
- Wong, N. H., Tan, C. L., Kolokotsa, D. D., & Takebayashi, H. (2021). Greenery as a mitigation and adaptation strategy to urban heat. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(3), 166–181. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00129-5>
- Yang, J., Yang, Y., Sun, D., Jin, C., & Xiao, X. (2021). Influence of urban morphological characteristics on the thermal environment. *Sustainable Cities and Society*, 72, 103045. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103045>
- Yi, S., Li, X., Tu, W., & Zhao, T. (2025, July). Planning for cooler cities: A multimodal AI framework for predicting and mitigating urban heat stress through urban landscape transformation. <https://arxiv.org/abs/2507.23000>
- Zheng, P., Zhang, Z., Liu, J., Zhang, Y., & Lin, Y. (2024). Evaluation methods and factors influencing the thermal comfort of children - a comprehensive literature review. *Journal of Building Engineering*, 91, 110063. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110063>

Financial speculation and environmental valuation in carbon price formation in forest carbon markets: a systematic review

Especulação financeira e valoração ambiental na formação do preço do carbono em mercados florestais: uma revisão sistemática

Sidnei Fonseca Guerreiro ^{*1}, Albano Figueiredo ^{**2}
and Valquíria Campos ^{***3}

¹São Paulo State University (UNESP), Institute of Science and Technology, Sorocaba, SP 18087-180, Brazil

²CEGOT – Centre of Studies in Geography and Spatial Planning, Department of Geography and Tourism, University of Coimbra, 3004-530 Coimbra, Portugal

³São Paulo State University (UNESP), Institute of Science and Technology, Sorocaba, SP 18087-180, Brazil

Abstract

The emergence of carbon markets can be interpreted both as a techno-economic innovation and as a climate governance mechanism that has gradually evolved into a speculative arena, where carbon credits are increasingly traded for risk and profitability rather than for their genuine environmental performance. The socio-environmental complexity of these markets demands a multidisciplinary analytical lens, given the high degree of economic myopia that speculation induces in price formation. This detachment between the ecological foundation of credits and their market equilibrium value highlights structural fragilities in valuation. Following the PRISMA protocol and the PICO framework, this study addresses the following research question: how does financial speculation influence equilibrium price formation in forest carbon markets? A systematic review was conducted using searches in the Scopus and Web of Science databases, carried out on 7 October 2025. The consolidated sample comprised 180 documents published in 97 journals and revealed a strong representation of energy economics, finance, and environmental policy. The findings indicate that regulatory shocks, liquidity conditions, and integrity narratives – both in Emissions Trading Systems (ETS) and in Voluntary Carbon Markets (VCM) – amplify volatility and speculative cycles, rendering prices highly sensitive to political and macroeconomic expectations, including oil prices, exchange rates, derivatives, and indices linked to climate and policy events. These dynamics unfold unevenly across territories, reflecting spatial asymmetries in governance capacity, regulatory enforcement, and the geographic distribution of mitigation potential. This speculation-oriented perspective exposes the implications of weak regulatory standardization and underscores the sensitivity of carbon prices to short-term interests, emphasizing the urgent need for market integrity and strengthened MRV+ mechanisms to realign price with ecological value.

Cadernos de
Geografia

doi: https://doi.org/10.14195/0871-1623_53_7

Received on:
March 5, 2026
Accepted on:
May 12, 2026

*Email: sidnei.guerreiro@unesp.br

**Email: geofig@fl.uc.pt

***Email: v.campos@unesp.br

Keywords: Forest carbon markets. Carbon pricing. Territorial governance. Environmental policy. MRV+.

JEL Codes: Q54, Q58, Q51, Q57, G12, R12, R14.

Resumo

A emergência dos mercados de carbono pode ser interpretada tanto como uma inovação tecnoeconômica quanto como um mecanismo de governança climática que evoluiu gradualmente para uma arena especulativa – na qual os créditos de carbono passam a ser negociados crescentemente em função de risco e rentabilidade e não de seu desempenho ambiental efetivo. A complexidade socioambiental desses mercados exige uma abordagem analítica multidisciplinar, dada a elevada miopia econômica que a especulação induz na formação de preços. Esse distanciamento entre a base ecológica dos créditos e seu valor de equilíbrio de mercado evidencia fragilidades estruturais nos processos de valoração. Seguindo o protocolo PRISMA e o *framework* PICO, este estudo investiga a seguinte questão de pesquisa: como a especulação financeira influencia a formação do preço de equilíbrio nos mercados de carbono florestal? Para tanto, foi realizada uma revisão sistemática com base em buscas nas bases *Scopus* e *Web of Science* (realizadas em 7 de outubro de 2025), resultando em um corpus consolidado de 180 documentos, publicados em 97 periódicos, com forte representação nas áreas de economia da energia, finanças e política ambiental. Os resultados indicam que choques regulatórios, condições de liquidez e narrativas de integridade – tanto em Sistemas de Comércio de Emissões (ETS) quanto em Mercados Voluntários de Carbono (VCM) – amplificam a volatilidade e os ciclos especulativos, tornando os preços altamente sensíveis a expectativas políticas e macroeconômicas (por exemplo, preços do petróleo, taxas de câmbio, derivativos e índices associados a eventos climáticos e regulatórios). Essas dinâmicas manifestam-se de forma desigual no território, refletindo assimetrias espaciais na capacidade de governança, na aplicação regulatória e na distribuição geográfica do potencial de mitigação. Essa perspectiva orientada pela especulação evidencia as implicações da frágil padronização regulatória e reforça a sensibilidade dos preços do carbono a interesses de curto prazo, destacando a necessidade urgente de integridade de mercado e do fortalecimento de mecanismos MRV+ para realinhar o preço do carbono ao seu valor ecológico.

Palavras-chave: Mercados de carbono florestal. Precificação do carbono. Governança territorial. Política ambiental; MRV+.

Códigos JEL: Q54, Q58, Q51, Q57, G12, R12, R14.

1. Introduction

In standard microeconomic price theory, financial speculation is recognized as a factor influencing market equilibrium, as agents assume risk by anticipating asset-price fluctuations in pursuit of efficiency and profit (Alaminos et al., 2024; Sabadini, 2013). The carbon market, by mirroring capital-market mechanisms, benefits from the liquidity generated by the short-term attractiveness of tradable carbon credits. Although it represents a technological and institutional innovation, this market retains a financial nature capable of internalizing the costs of negative externalities within its capitalist ecosystem, thereby contributing to climate-change mitigation (Berta et al.,

2017). Its architecture – modelled on stock and over-the-counter exchanges – rests upon economic axioms that prioritize financial maximization. Consequently, financial speculation, as its structural guardian, has acquired an insidious and camouflaged character, distinct from other cycles of capital accumulation (Arrighi, 1996).

Although speculation itself is not illegal, its widespread practice can distort carbon credit prices (Azlen et al., 2022), contributing to speculative bubbles that alter market equilibrium and weaken the link between credit valuation and effective climate-mitigation outcomes. Such dynamics may erode trust and transparency, reflecting well-documented limitations of capitalist price systems (Kindleberger et al., 2023). As noted by Arrighi (1996), this decoupling corresponds to a broader historical transition in economic cycles, wherein commodities – such as carbon credits – increasingly assume abstract representations of value and price, often preceding environmental degradation and socioeconomic stress. Empirical evidence supports this interpretation, as illustrated by domestic policy effects on deforestation following the 2008 U.S. housing crisis (Motel et al., 2009) and by the energy sector's sensitivity to carbon-policy announcements (Morão, 2024).

From this perspective, financial speculation is no longer understood merely as a behavioral deviation within markets, but rather as a structural logic of dissociation between value, price, and ecological materiality. In light of Critical Geography, as formulated by Milton Santos, carbon markets operate within a technical–scientific–informational milieu that allows global financial decisions to become progressively detached from the places where climate mitigation effectively occurs (Santos, 1996, 2000). In this process, carbon is converted into a predominantly informational asset, whose circulation responds more to the dynamics of financial flows than to the underlying ecological processes that sustain it. In line with Giovanni Arrighi's historical interpretation of financialization as a recurrent stage in cycles of capital accumulation, this spatial abstraction contributes to the formation of prices that are increasingly sensitive to signals exogenous to environmental performance (Arrighi, 1996).

This dissociation materializes concretely in the price elasticity of carbon credits and in the anomalies associated with their price formation (Azlen et al., 2022; Berta et al., 2017). Situations of excess supply tend to intensify volatility and depress prices, while artificial restrictions arising from subsidized policies may raise marginal abatement costs, undermining environmental additionality and resulting in ineffective mitigation outcomes. Moreover, the strong linkage between carbon prices and energy-market dynamics (Ahmed et al., 2022; Giraudet et al., 2021; Tu et al., 2021), shaped by production shocks and the oligopolistic power of fossil-fuel sectors (Yeh et al., 2021) reinforces the sensitivity of carbon credits to speculative financial interests. The co-movement with Brent oil and thermal coal prices (Düsterhöft et al., 2023) thus highlights the persistent asymmetry between climate objectives and the logic of financialization, underscoring the need for regulatory oversight (Kindleberger et al., 2023).

To mitigate such distortions in both regulated and voluntary markets, pricing instruments – such as cap-and-trade systems and carbon levies – have adopted anti-speculation mechanisms and market-safety layers to stabilize supply–demand

dynamics and avoid overvaluation (Berta et al., 2017). Their effectiveness depends on the regulatory capacity of states and international bodies to monitor, audit, and deter aggressive speculative practices. Within this environment of uncertainty, firms and markets react asymmetrically according to their position in the emissions hierarchy and carbon-finance cycle. Large corporations with greater market power and technological capacity often convert uncertainty into strategic advantage, while more exposed sectors face devaluations and increased risk, thereby amplifying inequalities and protectionist tendencies (Lamperti et al., 2021; Monasterolo & Raberto, 2018). The outcome is a pattern of shifting investment, rising volatility, and the financialization of nature – signs of macroeconomic disorder that hinder resource allocation and underscore the need for coordinated financial governance (Campiglio, 2016).

Against this backdrop, this bibliometric systematic review (SR) aims to reveal the hidden role of financial speculation in price equilibrium and social welfare. In this context, carbon credits, sustainability-linked bonds, and green assets operate as speculative hedging instruments, enabling investors to exploit regulatory uncertainty for short-term gains while eroding productive investment and artificially inflating credit prices. These assets are classified across integrity and risk scales – ranging from “brown” to “high-grade” – according to certification quality, with voluntary markets exerting increasing pressure on regulated systems, especially in regions vulnerable to climate change.

Given the sectoral segmentation of the carbon market, this SR focuses on the forest-based segment, which generates credits through the restoration of degraded areas and the conservation of native and planted forests. Each certified credit represents one metric ton of CO₂ equivalent (tCO_{2eq}) sequestered or avoided, used to offset emissions within carbon projects (Guerreiro et al., 2021). Such projects, aligned with IPCC standards, reflect commitments established under the Kyoto Protocol and the Paris Agreement (UNFCCC, 2015).

In this sense, territory emerges as both the point of origin and the material limit of forest carbon markets. It is within territory that ecosystem services are realized and rendered certifiable, enabling the existence of carbon credits, and it is also there that the effects of volatility and instability associated with the financialization of these markets materialize in asymmetric ways. This spatial asymmetry reveals that processes of valuation and price formation tend to become progressively detached from the territorial conditions that sustain climate mitigation, shifting risks and uncertainties toward more vulnerable forest regions and conferring a structural – rather than incidental – character to territorial inequality within the functioning of carbon markets.

Considering the cyclical nature of financialization, where bubbles and transitions often precede structural economic shifts (Arrighi, 1996), we argue that correcting carbon-price signals requires the explicit valuation of ecosystem services. In forest markets, this can be operationalized through CO₂Flux, a complementary indicator to CO_{2eq} that captures carbon flow rather than stock, thereby improving accuracy, traceability, and auditability in pricing. By reducing information asymmetry and aligning market value with realized environmental performance, CO₂Flux can discourage speculative arbitrage and reinforce confidence in offset mechanisms, sup-

porting the design of an Adjusted Environmental Budget for forest projects (Guerreiro et al., 2021, 2024). This analytical framework guides our hypotheses and subsequent empirical assessment.

In this context, the present study examines how financial speculation influences price equilibrium in forest carbon markets and how public policy frameworks mediate these fluctuations. By integrating bibliometric and systematic approaches, the review seeks to elucidate the mechanisms through which speculative behavior reshapes market efficiency, liquidity, and welfare outcomes. Beyond a mere description of volatility, the objective is to clarify how institutional design, integrity standards, and information asymmetries determine the extent to which carbon pricing reflects environmental value—rather than solely financial expectations. Ultimately, the question that arises is whether markets conceived to internalize ecological limits are able to fulfill this function when price signals respond more to the logic of speculation than to the territorial realities that sustain climate mitigation.

2. Methods

This study follows the PRISMA 2020 guidelines for systematic reviews (Page et al., 2021) and the PRISMA-S extension for search documentation (Rethlefsen et al., 2021). The central research question was formulated using the PICO framework (Population, Intervention, and Context), which structures analytical focus and eligibility criteria (Cooke et al., 2012), aiming to examine the effects of financial speculation on the carbon market.

While systematic reviews and meta-analyses are valuable for synthesizing quantitative evidence, they often fail to capture the complex and non-linear dynamics that characterize economic systems. Qualitative synthesis, in turn, enables a deeper understanding of actors' behavior, institutional design, and market failures, revealing mechanisms that quantitative asset-management approaches may overlook.

For these reasons, a mixed-methods approach combining quantitative and qualitative evidence was employed. Quantitative bibliometric mapping identifies structural patterns of research and citation, while qualitative analysis allows interpretation of market behavior, regulation, and integrity narratives. Together, these methods help uncover weaknesses in the carbon-credit system and support the formulation of more stable and equitable policy solutions for forest conservation and climate-change mitigation. This dual approach acknowledges the transitional nature of carbon markets, whose drive for profitability often persists independently of social and environmental outcomes.

The interdisciplinary scope adopted here represents a key analytical advantage for identifying gaps and designing effective strategies. Market failures are rarely visible through a single disciplinary lens; asymmetries linked to speculation, liquidity, and regulation can conceal externalities in both the short and long term, distorting equilibrium prices and encouraging environmentally inefficient policies.

3. Bibliometric Framework

The complexity of socio-environmental systems such as carbon markets demands a multidisciplinary approach. The intersection between financial, regulatory, and environmental dimensions creates multiple sources of uncertainty, frequently associated with the “economic myopia” introduced by speculative behavior (Sitarz et al., 2024).

Following the PICO framework (Cooke et al., 2012), the guiding question was defined as: How does financial speculation affect price equilibrium in forest carbon markets? The search and selection process adhered to the PRISMA 2020 and PRISMA-S standards (Page et al., 2021). Data were retrieved from Scopus and Web of Science on 7 October 2025, covering the period 2002–2025. The initial search identified 182 records (Scopus = 68; WoS = 114). After automated deduplication by DOI, title, author, and journal, two duplicates were excluded, resulting in a final sample of 180 articles.

The Boolean search strategy (applied in All Fields) focused on topic and price: (“carbon credits” OR “carbon market” OR “forest carbon”) AND (“speculation” OR “speculative”) AND (“carbon price” OR “carbon pricing”). The PRISMA flow diagram summarizing the screening process for the systematic review (2002–2025) is presented in Figure 1.

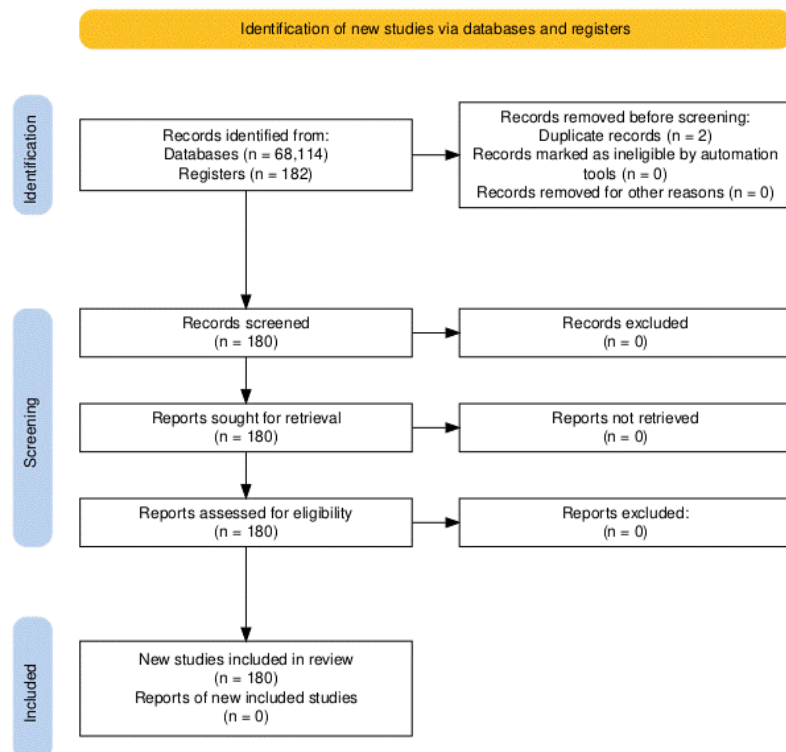


Figure 1. PRISMA 2020 flow diagram illustrating the systematic review process (2002–2025).

Adapted from Page et al. (2021), *The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews*, *BMJ*, 372: n71 (Haddaway et al., 2022; Page et al., 2021)

The PRISMA 2020 flow diagram (see Figure 1) ensures full traceability of the identification, screening and inclusion processes. Deduplication across Scopus and Web of Science yielded 180 valid records, guaranteeing thematic breadth and methodological consistency. The standardization of metadata fields and the combined use of Bibliometrix, VOSviewer, and R scripts enhanced reproducibility and comparability across databases, ensuring that the procedure can be replicated in accordance with the PRISMA (2020) guidelines.

Two complementary methodological aspects merit attention. First, no open-access filters were applied in order to avoid availability bias and preserve representativeness across journals from different publishers and access models. Second, although no explicit language restriction was imposed, the requirement for English titles and abstracts resulted in a predominance of publications in that language, with occasional inclusions of studies in Portuguese, Russian, and Spanish that were also screened and included in the qualitative analysis. This linguistic scope, acknowledged as a structural limitation of the international literature, underscores the importance of extending future reviews to non-English sources.

4. Systematic Review Approach

Bibliometric networks – covering co-authorship, occurrence, and co-occurrence of authors and keywords – were analyzed using VOSviewer 1.6.20 and R (RStudio 2024.12.1) through the Bibliometrix package. Standardized data exports (.txt, RIS, BibTeX) ensured full replicability of the analytical process. For thematic classification, the Journal of Economic Literature (JEL) taxonomy of the American Economic Association was applied (Cherrier, 2017). Each of the 180 articles was coded in the master dataset using the field JELreported, with 42 codes provided by authors (Fornec, 23.3%) and 138 assigned through audit based on titles, abstracts, and keywords (JELsource, 76.7%). This classification procedure standardized economic indexing and improved comparability across studies.

5. Results and Discussion

5.1. Distribution and Trends in Scientific Production

The consolidated corpus ($n = 180$) comprises publications across 97 journals, with a pronounced concentration in high-impact outlets within energy economics, finance, and environmental policy. The most represented journals are Energy Policy, Energy Economics, Forest Policy and Economics, Ecological Economics, and Forests, together accounting for nearly one-third of the total sample. This distribution, illustrated in Figure 2, confirms the multidisciplinary character of the topic, bridging research on energy markets, financialization processes, and environmental policy instruments.

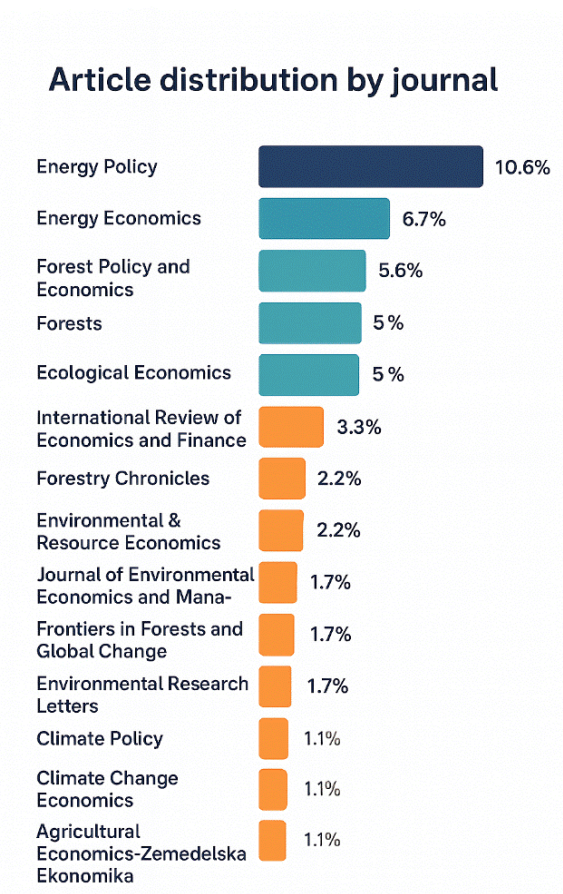


Figure 2. Top 15 journals publishing on speculation and carbon pricing (2002-2025).
Source: Authors, based on Scopus and Web of Science data retrieved on 7 October 2025.
Processing and visualization were performed using Bibliometrix/R (RStudio 2024.12.1).

Figure 2 shows that research on speculation and carbon pricing is mainly concentrated in energy and environmental economics journals, with a notable share of finance-oriented outlets. The debate therefore emerges at the intersection of price formation, market design, and risk across three analytical domains: energy (price formation and transmission), environment (integrity and policy), and finance (volatility and arbitrage).

This pattern reinforces the multidisciplinary character of the corpus ($n = 180$), which includes a wide array of aspects, from microeconomics to sustainable development. A pattern also clear from the analysis of attributes based on the JEL classification, which defines the analytical focus of the reviewed studies. As expected, category Q (environmental and resource economics) dominates (Figure 3), followed by G (finance) and C (methods), with additional support from H, O, and E, where public policy, innovation, and macroeconomic transmission are addressed. The following section applies the JEL taxonomy to structure this thematic mapping.

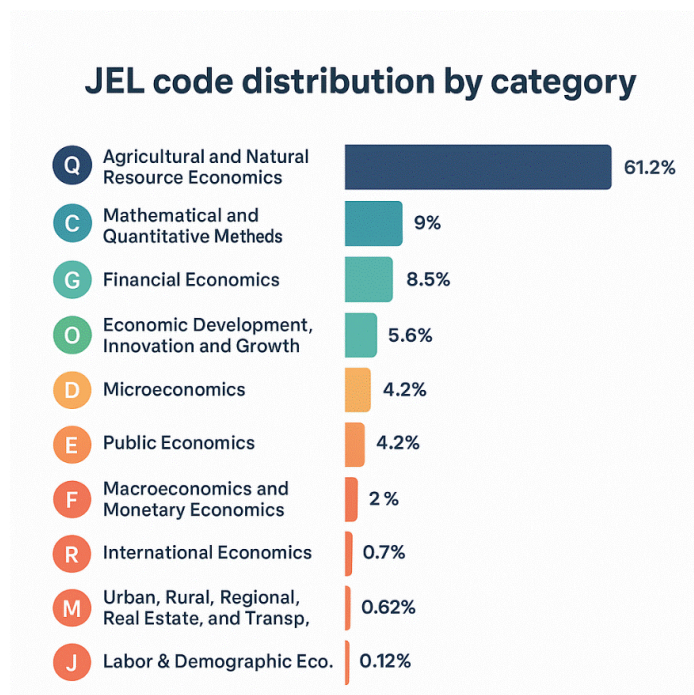
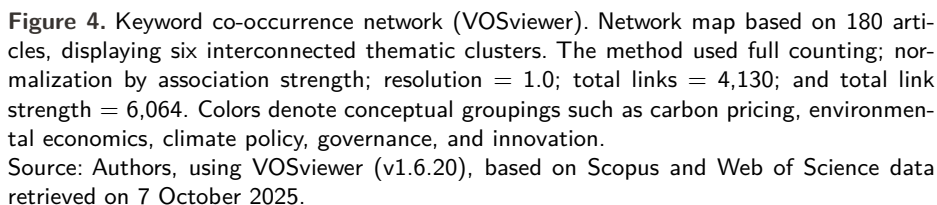


Figure 3. JEL code distribution by category for the analyzed corpus ($n = 180$).
Source: Authors, based on Scopus and Web of Science data retrieved on 7 October 2025. A total of 840 JEL codes were assigned. Processing and visualization were performed using Bibliometrix/R (RStudio 2024.12.1).

The thematic classification based on JEL codes (Figure 3) confirms the environmental orientation of the corpus, with Agricultural and Natural Resource Economics and Environmental and Ecological Economics as the prevailing categories. This predominance reflects the analytical focus on conservation, resource management, and environmental regulation.

The secondary representation of quantitative and financial domains highlights the methodological and speculative dimensions of the literature, linking econometric modeling, market behavior, and price dynamics. This distribution supports the transition to the next analytical stage, which examines how these thematic axes converge in studies on financial speculation and carbon pricing.

For qualitative analysis, the most frequent terms were prioritized, representing the core clusters of scientific production within the defined scope. This selection enabled an objective classification of the predominant thematic fields, forming the analytical foundation of the review through reference clusters. Following the methodological workflow, VOSviewer was used to identify keyword co-occurrences within the consolidated sample of 180 articles. A total of 169 valid terms were detected, connected by 4,130 links, yielding a total link strength of 6,064. The processing, conducted under full counting and normalized by association strength, produced six main clusters (Figure 4) that define the thematic structure of the field.



Market-related terms – including speculation, finance, and pricing – appear in adjacent clusters, indicating the emergence of a financial axis that connects environmental valuation to market mechanisms. This configuration suggests that the integration between ecological foundations and financial processes has become a recurring analytical focus in recent research agendas.

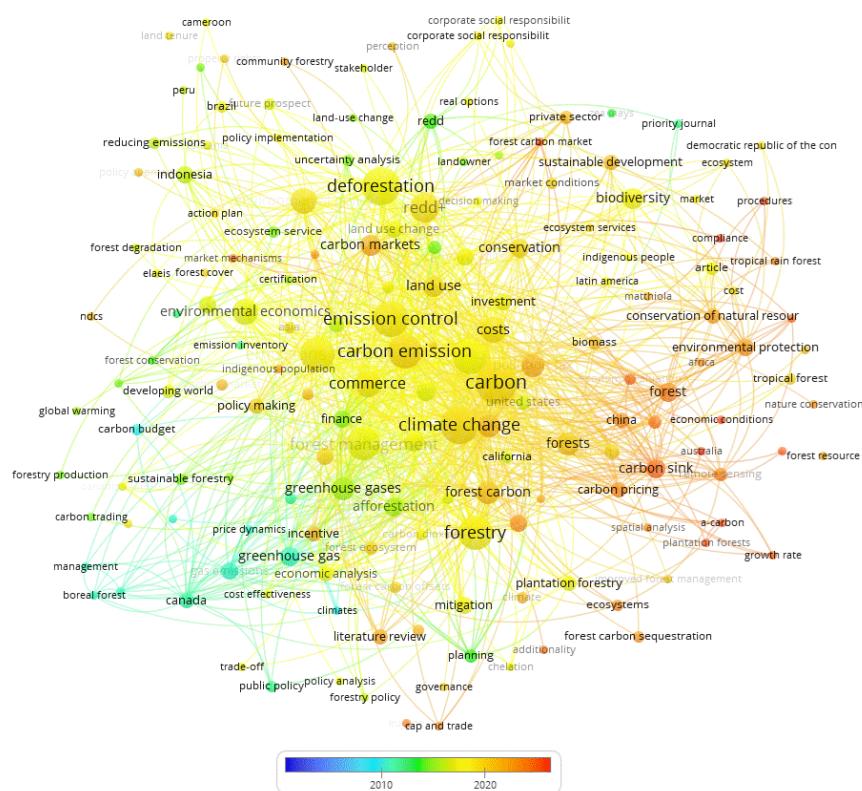


Figure 5. Temporal overlay visualization of keywords (VOSviewer). Chronological distribution of keywords from 2005 to 2025, showing the thematic evolution of the field. Warm tones (orange and yellow) represent recent research topics such as carbon pricing, emissions trading, and carbon sequestration, while cool tones (blue) indicate earlier conceptual foundations including climate change and global warming.

Source: Authors, using VOSviewer (v1.6.20), based on Scopus ($n = 68$) and Web of Science ($n = 114$) data retrieved on 7 October 2025.

Records published before 2005 are not displayed due to metadata limitations related to standardized keywords.

Figure 5 presents the temporal overlay visualization, illustrating the chronological evolution of keywords from 2005 to 2025. Warm tones (orange and yellow) identify the most recent research fronts, clustered around carbon pricing, emissions trading, carbon sequestration, and climate change mitigation. In contrast, cool tones (blue) depict the conceptual foundations consolidated in earlier decades, emphasizing themes such as climate, global warming, and tropical forest.

This chromatic gradient reflects a structural transition in the field—from theoretical and normative perspectives toward applied and economic analyses focused on carbon valuation, regionalized policy design, and the integration of environmental and financial metrics.

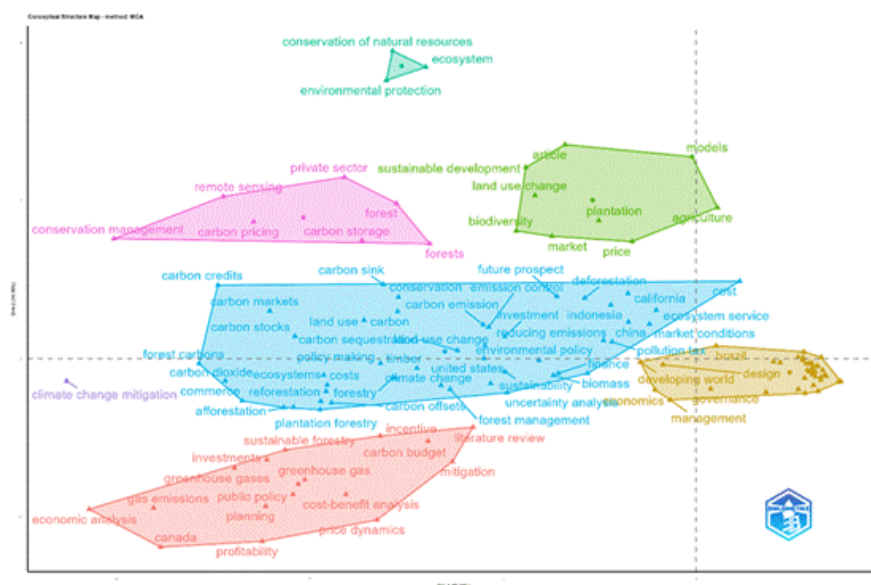


Figure 6. Conceptual structure map (MCA; Bibliometrix/RStudio). Two-dimensional projection of the keyword space using Multiple Correspondence Analysis with k-means clustering ($k = 6$). Axes: Dim 1 (50.49%) and Dim 2 (10.76%). Colors denote clusters; labels indicate representative terms.

Source: Authors, using Bibliometrix (R/RStudio 2024.12.1), based on Scopus ($n = 68$) and Web of Science ($n = 114$) data retrieved on 7 October 2025.

Figure 6 illustrates the conceptual structure map generated through Multiple Correspondence Analysis (MCA) and k-means clustering ($k = 6$). The red cluster represents the microeconomic–analytical axis, including economic analysis, mitigation, investment, and cost–benefit modeling. The light-blue cluster integrates studies on carbon economics, encompassing emission control, carbon sequestration, and environmental policy. The green cluster groups the agro-forestry and market–price domain, with terms such as plantation, agriculture, biodiversity, and land-use change. The magenta cluster connects remote sensing, carbon pricing, and conservation management within the context of the private sector. Finally, the yellow/ochre cluster highlights governance and implementation issues in the Global South—particularly in Brazil—where design, management, and pollution tax emerge as key terms.

This configuration confirms the dual analytical core identified in previous figures: the intersection between economic–environmental valuation and governance/implementation. It consolidates carbon economics as a multidisciplinary field where financial, ecological, and policy dimensions converge.

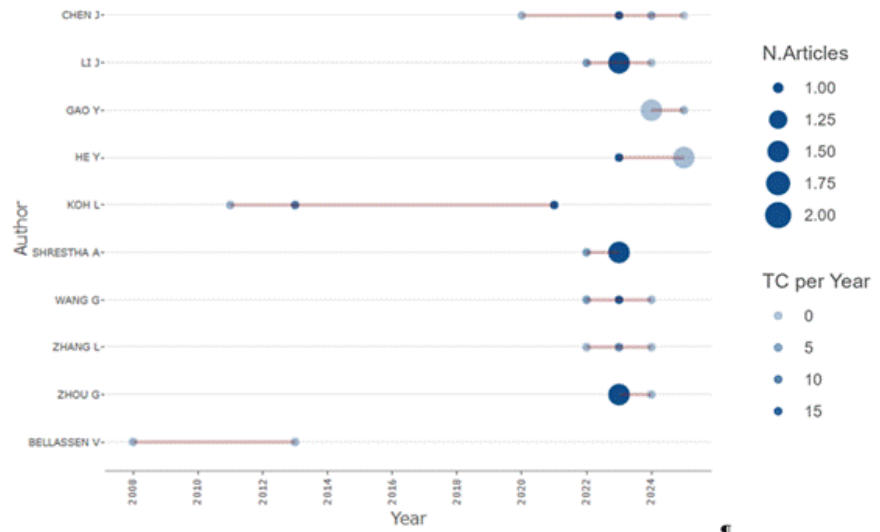


Figure 7. Authors' production over time (Bibliometrix/RStudio).

Source: Authors, using Bibliometrix (R/RStudio 2024.12.1), based on Scopus ($n = 68$) and Web of Science ($n = 114$) data retrieved on 7 October 2025. Lines represent each author's active publication period within the sample (2008–2025). Parameters: `authorProdOverTime` (M , $k = 10$); export resolution: 300 dpi.

Note: Although the systematic review covers publications from 2002 to 2025, the temporal visualization begins in 2008 due to metadata availability. Earlier records within the reviewed period lacked standardized author identifiers, preventing their inclusion in the longitudinal representation.

Figure 7 illustrates the temporal distribution of author productivity within the corpus, revealing three distinct patterns: (i) Long and continuous trajectories—authors such as Koh L. and Bellassen V. maintain extended publication lines over more than a decade, indicating seniority and cumulative citation impact; (ii) A recent post-2020 cohort—authors including Li J., Gao Y., and Chen J. display a sharp rise and larger bubbles between 2022 and 2025, reflecting accelerated visibility in topics such as carbon pricing, emissions trading, and market governance; and (iii) Authors with few but high-impact papers—isolated large bubbles denote synthesis or policy-assessment studies with strong citation performance despite limited output. Taken together, the time series confirms the renewal and geographical diversification of the field over the past decade, consistent with the trends observed in Figures 4–5 (the applied and economic turn) and the conceptual structure identified in Figure 6 (axes of governance, valuation, and conservation).

Table 1 presents the most productive authors in the sample between 2002 and 2025, highlighting the consolidation of a research core located primarily in the Global North—Western Europe, North America, and East Asia. Among the most influential contributors are Massimo Tavoni, Emanuele Campiglio, and Valentin Bellassen, whose work has shaped the integrated modeling of climate policy and carbon economics (Campiglio, 2016; van Vuuren et al., 2020). The temporal predominance of these authors after 2010 marks the consolidation of carbon economics as an

autonomous subfield within environmental economics, grounded in price, risk, and governance metrics.

Table 1. Most productive authors in the sample (2002–2025). Ranking based on combined score; fractional count = 1/number of authors per article.

Rank	Author	Country	Affiliation	Active period	Span (years)	Articles (FC)	Total citations (TC)
1	Zhang	China	Tsinghua University	2022–2024	3	3.00	458
2	Tanaka	Japan	University of Tokyo	2012–2021	10	4.00	1722
3	Campiglio	UK	University of Edinburgh	2016–2016	1	2.00	1192
4	Varun	India	Indian Institute of Technology	2017–2023	7	2.00	140
5	Franz	Germany	Technical University of Munich	2021–2025	5	2.00	44
6	Liu	China	Peking University	2021–2022	2	2.00	86
7	Massa	Italy	University of Bologna	2016–2022	7	2.00	143
8	Chen	China	Shanghai Jiao Tong University	2024–2025	2	2.00	130
9	Buttar	UK	University of Birmingham	2009–2021	13	0.58	81
10	Bellassen	France	INRAE / Paris-Saclay University	2008–2013	6	2.00	850
11	Peterson	USA	Harvard University	2012–2024	13	2.00	83
12	Lazzarini	Brazil	University of São Paulo (USP)	2021–2025	5	2.00	152

Source / methodological note: Authors' elaboration using R/Bibliometrix. Fractional count prevents inflation due to multiple coauthorships. Total citations (TC) represent cumulative citations per author within the deduplicated sample (Scopus + Web of Science).

Figure 8 expands this analysis by showing the distribution of author production by country of affiliation, distinguishing single-country publications (SCP) from multiple-country publications (MCP). The figure highlights the dominance of the United States and China, which together account for over 40% of the total articles, as well as the growing prominence of European centers—Germany, France, and the United Kingdom—whose tradition in climate modeling and market regulation dates back to the establishment of the EU ETS (Ellerman & Buchner, 2007; Schippers & Massol, 2021). Conversely, the Global South remains underrepresented, with Brazil appearing among the top ten countries only after 2020, reflecting its delayed entry into the scientific debate on carbon pricing and offset mechanisms.

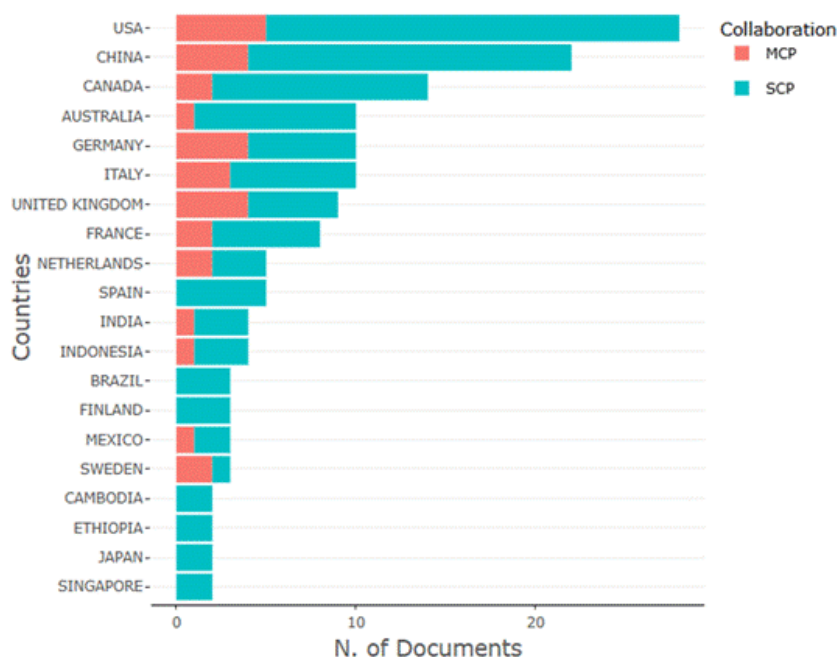


Figure 8. Authors' production over time and distribution by country of affiliation (SCP = single-country publications; MCP = multiple-country publications).

Source: Authors, using Bibliometrix (R/RStudio 2024.12.1), based on Scopus (n = 68) and Web of Science (n = 114) data retrieved on 7 October 2025.

The joint interpretation of Table 1 and Figure 8 reveals a structural asymmetry that reflects not only scientific power but also the economic hierarchy between the Global North and the Global South. This configuration mirrors the uneven geographies of globalization and knowledge production described by Milton Santos (Santos, 1996, 2000) whereby technical-scientific infrastructures and decision-making capacities remain concentrated in core regions, while peripheral areas continue to depend structurally on them.

Empirically, this asymmetry is evident in the carbon-market literature, where most theoretical and methodological production is concentrated in the North—closely linked to the genesis and refinement of the EU ETS and to governance frameworks that privilege high-income regions (Gilbertson, 2021; Gren, 2024; Gren & Aklilu, 2016). Such centralization reproduces historical dependencies between scientific and economic capital, reinforcing the epistemic divide that limits Southern participation in rule-setting and valuation processes within global climate governance.

This imbalance supports the argument that the carbon market reproduces the same inequalities observed in the global financial system, wherein knowledge, capital, and measurement capacity are concentrated in the North, while mitigation potential largely resides in the South (Arrighi, 1996). Nevertheless, the growing participation of Latin American and Asian institutions indicates a positive inflection, suggesting the gradual emergence of an active scientific periphery within the international climate debate.

To strengthen this geographical reading, Figure 9 introduces an interpretive cartographic synthesis of the territorial architecture of compliance carbon pricing instruments, based on the World Bank Carbon Pricing Dashboard. This figure is not part of the bibliometric corpus itself; rather, it complements the systematic review by spatializing the institutional environment in which carbon pricing mechanisms are implemented. It distinguishes carbon taxes, Emissions Trading Systems (ETS), combined arrangements, and instruments under development or consideration, while also providing an interpretive reference to the Global North–Global South divide.

The map reinforces the argument that carbon pricing is not territorially neutral. Implemented instruments are more densely concentrated in Europe, North America, and selected Asia-Pacific economies, where regulatory capacity, market infrastructure, and institutional coordination are more consolidated. In contrast, several countries in Latin America, Africa, and other parts of the Global South appear through instruments under development or consideration, suggesting a more fragmented and still-emerging regulatory geography. This pattern helps connect the bibliometric asymmetry identified in Figure 8 with the broader spatial organization of carbon-market governance.

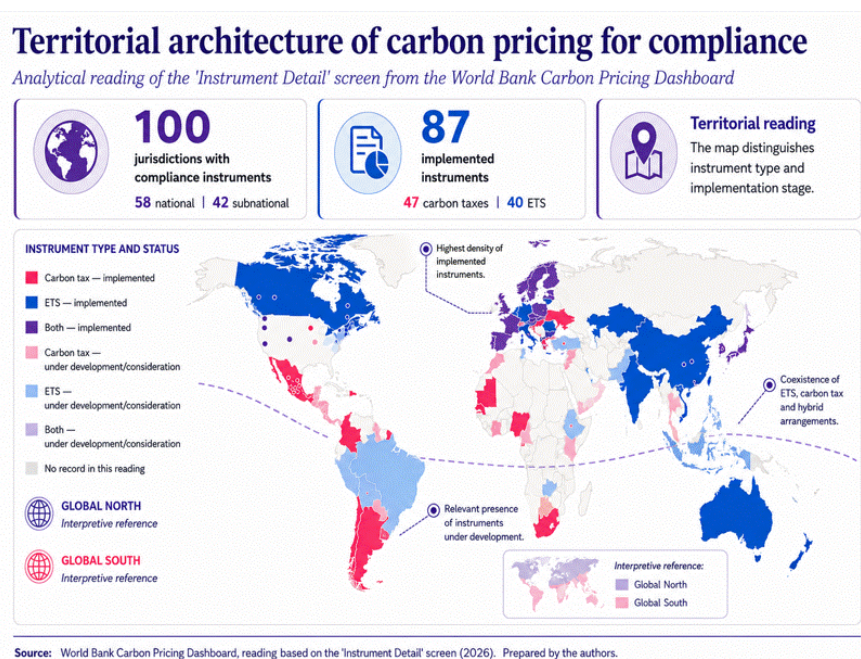


Figure 9. Territorial distribution of compliance carbon pricing instruments and North–South asymmetries. Interpretive cartographic synthesis based on the “Instrument Detail” screen of the World Bank Carbon Pricing Dashboard. The figure distinguishes implemented carbon taxes, Emissions Trading Systems (ETS), combined arrangements, and instruments under development or consideration. The Global North/Global South distinction is used as an interpretive geopolitical reference rather than as a strict geographic boundary.

This cartographic synthesis closes the geographical reading developed by connecting the uneven distribution of scientific production to the territorial architecture

of carbon pricing. The next section advances from this spatial diagnosis to the thematic mechanisms through which speculation, regulatory uncertainty, and market design shape carbon price formation.

6. Thematic Insights from the Systematic Review

Financial speculation is not merely a transient anomaly in price fluctuations. It constitutes a structural phase within the broader cycle of capital accumulation, responding to the institutional and technological transformations of its time. In practical terms, oscillations and “manias” are not external noise to the carbon market but endogenous mechanisms that emerge when rules and expectations are reconfigured (Burtraw et al., 2009; Campiglio, 2016).

To interpret this phenomenon, the carbon market requires a combined quantitative–qualitative lens. Quantitative models, price regressions, volatility measures, and time-series analyses (Dou et al., 2022) capture short-term reactions to policy shocks and news cycles. Qualitative perspectives, in turn, reveal how rules, credibility, and enforcement shape expectations and market behavior (Ohlendorf et al., 2022; Zhang et al., 2024).

The systematic review indicates that speculation intensifies during periods of high volatility, when uncertainty and expectations amplify, and intertemporal myopia distorts price formation (Dou et al., 2022). Yet, speculative behavior is not confined to crisis peaks: post-reform stability does not eliminate speculation but conceals it. In contexts of gradual announcements or regulatory uncertainty, deviations may be camouflaged within the apparent regularity of aggregated expectations (Sitarz et al., 2024). Consequently, purely quantitative approaches tend to under-capture speculative behavior in “calm” regimes, making qualitative analysis of institutional design and incentive structures essential (Ding et al., 2025).

A recurrent theme in the literature concerns market intermediaries and architecture. In regulated markets, compliance obligations and monitoring mechanisms reduce direct manipulation, although banking, hedging, and compliance-cost structures still create space for strategic financial behavior (Campiglio, 2016; European Securities and Markets Authority (ESMA), 2024). In voluntary markets, where enforcement is diffuse, brokers and certifiers can widen spreads, transfer risk, and amplify speculation through expectations about eligibility, additionality, and integrity—a concern raised by Millard-Ball (2012) and reinforced in more recent governance analyses. In both contexts, liquidity and efficiency can be welfare-enhancing, but losses arise when market power sustains fees and redistributes risk without social return (Kangas & Ollikainen, 2023; Lessmann & Kalkuhl, 2024).

The review also uncovers marked heterogeneity between ETS and VCM systems. In regulated schemes, adjustments in scope, cap design, allocation, and inter-system linkages transmit policy shocks to price and volatility (Burtraw et al., 2009). In voluntary systems, pricing depends on standards and narrative framing, making these markets more sensitive to news cycles and private governance (Millard-Ball, 2012). Across both, policy uncertainty—whether reform announcements, partial ad-

justments, or judicial decisions—emerges as a consistent determinant of speculative episodes, a finding strong across the 180 studies reviewed.

Within the forest segment, the review identifies a distinct price regime conditioned by project ecology (permanence and leakage risk, measurement accuracy) and regulatory evolution. Recent studies examine risk premiums by country and practice, simulating trade gains when uncertainty is internalized (Gren, 2024). European debates on forest removals under the new CRCF have generated strong ex-ante market signals: projects and assets reposition even before eligibility pathways become operational—an archetype of “value anticipation” consistent with accumulation-cycle theory. Regulation (EU) 2024/3012, which formalizes certification for removals and carbon farming, reshapes incentives; the 2025 scientific advisory report further recommended separate targets for reductions and removals to prevent mitigation deterrence—both consistent with anticipatory pricing dynamics (European Union, 2024).

Within forest-based economies, carbon-price volatility reshapes rotation calendars and selective harvesting methods, influencing synergy zones between profitability and CO₂ removal (Ekholm, 2020; Luo et al., 2023; Tee et al., 2014; van Kooten, 2023). The reintegration of AI and optimization tools into harvesting schedules, risk management, and eligibility assessment improves operational efficiency but also introduces new volatility channels, as technological expectations themselves become priced (Cong et al., 2024).

Although Australia is not a forest-based economy, its Eucalyptus species – widely introduced in tropical and subtropical regions – underpin the structure of planted forests across the Global South, particularly in Brazil. This genetic and silvicultural legacy connects Australian-origin forestry with contemporary carbon-market mechanisms, where plantation cycles and productivity models shape valuation and credit-generation dynamics.

From a geopolitical standpoint, the North–South asymmetry discussed in Section 3.1 re-emerges: theoretical and methodological output remains concentrated in the North, while most forest mitigation potential lies in the South, where institutional capacity and regulatory risk continue to shape pricing outcomes (Scherger, 2024). At the level of international negotiations, rule design and exception mechanisms may enable formal targets without substantive emission reductions, a recurring concern in governance analyses (Maraseni & Reardon-Smith, 2019).

In synthesis, the reviewed evidence suggests that the forest carbon market can operate both as a mitigation instrument and as a vehicle for financialization. When captured by short-term incentives, it dematerializes ecological value into financial operations of return, risk, and liquidity, turning the climate crisis into a new frontier of valorization, in line with accumulation-cycle theory. This process, however, does not unfold in abstraction but is inscribed in concrete territories, where the production of ecosystem services, institutional regulation, and exposure to risk are unevenly distributed across space. The transition from “forest value” to “expected financial value” thus reflects not only a shift in pricing logic, but also a geographical reconfiguration of climate mitigation, helping to explain why risk premiums, regulatory

arbitrage, and integrity narratives have assumed a central role in the formation of carbon credit prices.

7. Comparative Synthesis of Market Mechanisms

Table 2 summarizes the conceptual patterns emerging from the 180 studies reviewed, classifying them by market type, speculative mechanism, and policy implication. The synthesis highlights how speculative behavior varies across institutional designs – from regulated Emission Trading Systems (ETS) to Voluntary Carbon Markets (VCM) and hybrid regimes – revealing that financial speculation is not an isolated phenomenon but a structural component of carbon price formation. This integrative overview bridges empirical evidence and regulatory insight, serving as a conceptual interface between Sections 3 and 4. These speculative mechanisms unfold unevenly across regulatory and territorial contexts, revealing that carbon price formation is inseparable from the spatial organization of markets, governance capacities, and the geography of mitigation itself.

Table 2. Comparative overview of speculative mechanisms and policy implications in carbon markets (n = 180)

Market Type	Speculative Mechanism	Policy Implication	Representative Studies
Emission Trading Systems (ETS) (EU ETS, KETS, California Cap-and-Trade)	Price volatility driven by allowance oversupply and inter-period banking. Speculative arbitrage exploiting allocation asymmetries. Short-term trading dominance by financial intermediaries.	Introduce adaptive price corridors linking marginal abatement cost and social cost of carbon. Limit speculative banking beyond compliance cycles. Strengthen transparency and disclosure within allowance registries.	Burtraw (2009); Campiglio (2016); Dou (2022)
Voluntary Carbon Markets (VCM) (REDD+, CORSIA, Gold Standard, Verra)	Forward pre-selling and low verification quality enabling speculative accumulation of underpriced credits. Liquidity asymmetry and off-balance sheet transactions detached from mitigation outcomes. Speculative expectations driven by ESG signalling and reputational arbitrage.	Implement MRV+ frameworks with independent auditing and real-time tracking. Introduce reversibility insurance to mitigate permanence risk. Harmonize certification standards to reduce information asymmetry.	Millard-Ball (2012); Kangas & Ollikainen (2023); Lessmann & Kalkuhl (2024)
Hybrid / Emerging Markets (China ETS, Brazil SBCE, Colombia, New Zealand)	Dual pricing during pilot-to-compliance transitions. Governance gaps and fragmented oversight allowing speculative spreads between regulated and voluntary instruments. Market inertia amplified by policy uncertainty and institutional experimentation.	Develop stabilization funds to absorb speculative liquidity shocks. Integrate fiscal tools (carbon floor prices, auction reserves) to align liquidity and integrity. Enhance international linkage protocols to reduce cross-market volatility.	Gren (2024); Scherger et al. (2024); Maraseni et al. (2019)

Source: Authors, based on systematic review (Biblioshiny and RStudio, 2025). Classification by market type (ETS / VCM / Hybrid), dominant speculative mechanism, and main policy implication.

As Arrighi (1996) observed, every financial cycle expands through speculation before regulation restores order. Carbon markets follow the same rhythm: speculation grows where price and ecology drift apart. In regulated systems, it is institutional; in voluntary ones, symbolic – echoing Pareto’s logic of belief and profit. Kindleberger et al. (2023) reminds us that such waves are not anomalies but moments of renewal. Here, speculation becomes the mechanism through which capitalism converts ecological uncertainty into economic value – a transition explored further in Section

4, reaffirming the historical evolution of economic thought toward environmental integration Gullo (2010).

8. Conclusions

The systematic review of 180 articles demonstrates that the incorporation of financial instruments into the climate agenda has generated a growing disjunction between the environmental and market value of carbon credits. This divergence – where prices reflect cycles of liquidity, risk, and expectation rather than ecological externalities – characterizes an advanced stage of climate financialization. The result is a system in which policy shocks, regulatory news, and intermediation strategies shape price dynamics with sufficient intensity to influence real decisions in investment, mitigation, and land use.

The literature addressing carbon markets as financial assets converges around three main analytical strands, each grounded in the microeconomic logic of market equilibrium and price formation.

The first strand examines the relationship between carbon and energy markets, showing that carbon prices are significantly affected by fossil-fuel demand, particularly for oil and coal. Empirical studies such as Aslam et al. (2023) and Azlen et al. (2022) indicate that fluctuations in energy demand, especially during oil booms raise emissions and, consequently, the price of carbon credits. Energy-price volatility also exhibits strong predictive power for future carbon prices. This linkage transmits changes in fossil-fuel demand and energy-mix composition directly to carbon prices, propagating short-term volatility and expectation effects across the system.

The second strand focuses on price volatility and market dynamics, as noted by Disterhoft et al. (2023) and others (Billimoria et al., 2025; Chen et al., 2019). These studies highlight the effects of uncertainty in carbon trading, including outliers, abrupt shifts, and variance clusters. Endogenous volatility – expressed through jumps and regime breaks – indicates that carbon markets react nonlinearly to uncertainty. Speculative behavior becomes visible during stress periods but is often disguised under “stable” regimes, where it hides behind the regularity of expectations.

The third and most recent strand explores the role of carbon markets as investment vehicles and their implications for portfolio performance, showing potential diversification benefits, particularly during downturns. Studies such as Zhang et al. (2024) and Demiralay et al. (2022) demonstrate that incorporating carbon credits can reduce portfolio risk, though effects vary across markets and time horizons, especially within the EU ETS.

Overall, the literature suggests that while carbon prices are shaped by multiple determinants, their interpretation within a microeconomic equilibrium framework reveals a duality: carbon, as a financial asset class, introduces diversification opportunities but also regulatory, temporal, and informational arbitrage windows that can erode social welfare when private value capture outweighs environmental benefit.

We argue that the imperfectly competitive structure of the carbon market provides fertile ground for speculative practices that inflate credit prices without ensuring proportional environmental returns. Early studies in this field often treated finan-

cialization superficially, without connecting it to price-equilibrium theory, capital-accumulation cycles, or the broader history of economic thought, focusing instead on indices, exchanges, and hedge fund activity.

From an institutional standpoint, the review confirms a persistent structural heterogeneity between regulated markets (ETS) and voluntary markets (VCM). In ETS, cap-and-trade frameworks, reform credibility, and banking/balancing rules limit direct manipulation but do not eliminate speculative incentives surrounding policy reforms and announcements. In VCM, the diversity of standards and private governance structures makes prices more sensitive to integrity narratives, amplifying information asymmetries and creating space for extractive intermediation. In both settings, intermediaries enhance liquidity and reduce transaction costs but may intensify financialization when market power, opacity, and fees detached from environmental performance prevail.

In the forest segment, the evidence is unequivocal: permanence, leakage, and measurement risk define a distinct price regime in which risk premiums vary by country, typology, and management practice. Debates over removals and regulatory eligibility generate ex-ante value signals that attract speculative investment even before normative consolidation. Nevertheless, rapid advances in technical solutions – such as MRV+ geotechnologies (LiDAR/SAR, CO2Flux, optical time series, growth and risk modeling), data standardization, and independent auditing – are improving accuracy, traceability, and transparency, thereby compressing uncertainty premiums and curbing opportunities for financial capture without environmental return. From a geographical perspective, this asymmetry is not merely economic or institutional, but spatially produced: regulatory capacity, measurement infrastructure, and financial decision-making concentrate in core regions, while mitigation activities, land-use transformation, and environmental risk remain territorially anchored in peripheral forest landscapes.

The North–South asymmetry once again emerges as a structuring axis: theoretical production and measurement infrastructure remain concentrated in the Global North, whereas forest mitigation potential and regulatory uncertainty are primarily located in the Global South. This imbalance affects price, liquidity, and risk: where institutional capacity and standardization are weak, carbon prices tend to reflect expectations rather than ecological value—precisely the conditions that foster speculation. Since 2008, there has been no empirical reason to assume that such market failures are less harmful than political intervention or scientific discredit, nor that carbon-credit markets have systematically achieved their stated objectives. The debate on the effectiveness and limits of carbon-credit policy thus remains open, and the evidence presented here raises as many questions as it answers. Ultimately, by articulating these analytical fronts, this systematic review offers a strategic lens to reassess the limits and promises of a carbon market still in formation—one in which the forest, as asset, symbol, and ecological infrastructure, occupies a central and contested position, while simultaneously emerging as lived territory and concrete space where global financial logics collide with local environmental realities.

9. Policy Implications

The findings suggest that the stability of carbon prices depends less on market maturity than on institutional design. Strengthening MRV+ systems—extending measurement, reporting, and verification to include social and ecological co-benefits—could reduce the informational asymmetry that fuels speculative volatility. Likewise, introducing reversibility insurance mechanisms would improve long-term credibility, ensuring compensation when carbon stocks are lost through fire, pests, or management failures. Finally, establishing price corridors, with minimum and maximum thresholds, may prevent speculative bubbles and reinforce allocative efficiency. From a systemic perspective, these measures align with Arrighi's interpretation of financial cycles: speculation and regulation are not opposites but sequential phases of the same dynamic, where governance transforms uncertainty into stability.

From a geographical standpoint, the effectiveness of these policy instruments is inherently uneven across territories. Institutional capacity, technical infrastructure, and governance density vary significantly between regions, shaping how MRV+ systems, insurance mechanisms, and price controls are implemented and enforced. In forest-based economies of the Global South, where mitigation potential is high but regulatory stability and monitoring capacity are limited, policy instruments tend to operate under greater uncertainty, amplifying spatial asymmetries in price formation and risk allocation. Consequently, carbon-market regulation cannot be treated as territorially neutral: its outcomes depend on the spatial distribution of institutions, knowledge, and enforcement capacity, reinforcing the need for geographically differentiated policy design.

10. Limitations and Future Perspectives

The forest carbon market presents structural limitations that constrain both its environmental effectiveness and its economic stability. The accelerating financialization of forest assets, as emphasized by Azlen et al. (2022) and Isah et al. (2024), reveals a widening disconnect between the ecological and financial valuation of forest credits. Price volatility—driven by market sentiment, liquidity conditions, and regulatory uncertainty (Wu & Qin, 2021)—undermines long-term investment horizons, discourages productive capital allocation, and weakens incentives for sustainable forest management. These limitations are not evenly distributed but manifest territorially, as carbon market risks, benefits, and governance capacities are spatially differentiated across landscapes, regions, and socio-ecological contexts.

Moreover, as Gilbertson (2021) cautions, the expansion of the forest carbon market risks reproducing historical inequalities by favoring large actors while marginalizing vulnerable communities. This concern is exemplified by Afro-Colombian populations affected by mining activities, whose territorial rights and governance participation are often disregarded. The proposed inclusion of forest removals in the EU ETS by 2030 (Bleuel & Müller, 2024) crystallizes the tension between ecological integrity and the pressure for liquid assets to fulfill Article 6 commitments under the Paris Agreement UNFCCC (2015).

Another critical limitation lies in the market's dependence on forests as a valorization infrastructure. While optimization and efficiency-oriented instruments can enhance allocative outcomes, they risk neglecting complex ecological dynamics—such as biodiversity and resilience—when scientifically validated environmental metrics are not fully integrated (Kovacs et al., 2021). In the absence of robust safeguards, market design may internalize financial risk while externalizing ecological risk, ultimately eroding the environmental legitimacy of the system.

Despite these constraints, the forest carbon market retains significant potential for evolution, provided that structural reforms are implemented. The integration of artificial intelligence and climate modeling (Zhang et al., 2024) opens promising avenues for evidence-based governance, reducing uncertainty and improving the valuation accuracy of ecosystem services. Fine-scale spatial modeling of carbon sequestration, as proposed by Kovacs et al. (2021), supports more efficient resource allocation and risk management at both project and landscape scales.

Among the most promising regulatory innovations, Gren (2024) proposes pricing forest-removal risks through adjusted secondary markets (e.g., reversal-risk instruments), thereby enhancing credit reliability and aligning environmental asset valuation with ecological fundamentals. However, the integrated analysis presented in this review suggests that financialization is likely to deepen, with speculation distorting the circulation between fictitious and real value, ultimately eroding trust in price-control mechanisms. In this dynamic, core economies may retain financial advantages by outsourcing environmental responsibility to peripheral countries without altering their own productive or energy structures—thus perpetuating an unsustainable pattern of consumption detached from ecological materiality. Avoiding such an outcome requires institutional redesign capable of reconnecting price with integrity, ensuring that valuation mechanisms reflect genuine ecological performance rather than speculative expectation.

Data Availability

The curated bibliographic metadata used in this systematic and bibliometric review, together with the documented search protocol, PRISMA materials, data dictionary, and associated R scripts, are available in the Zenodo replication package: <https://doi.org/10.5281/zenodo.20781567>. The public package excludes raw Scopus and Web of Science exports, full-text PDFs, full abstracts, and raw affiliation fields because of database, publisher, and copyright restrictions.

Code Availability

The R scripts included in the Zenodo replication package generate the public metadata dataset, the documented search-protocol files, the PRISMA materials, and the repository documentation. The package supports transparency and traceability of the preserved final corpus ($n = 180$). Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.20781567>.

Declarations

Conflict of interest. The authors declare no competing financial interests or personal relationships that could have influenced the work reported in this paper. Ethical approval. Not applicable (bibliometric and documentary research only; no human or animal subjects involved).

Consent to participate. Not applicable.

Consent for publication. Not applicable.

Human and Animal Rights. Not applicable.

Supplementary Material - (available upon request)

References

- Ahmed, Y., Ebrahim, S., & Ahmed, M. (2022). Determinants of solar technology adoption in rural households: The case of belesa districts, amhara region of ethiopia. *Cogent Economics & Finance*, 10(1), 1–11. <https://dx.doi.org/10.1080/23322039.2022.2087644>
- Alaminos, D., Guillén-Pujadas, M., Vizuete-Luciano, E., & Merigó, J. M. (2024). What is going on with studies on financial speculation? evidence from a bibliometric analysis. *International Review of Economics & Finance*, 89, 429–445. <https://dx.doi.org/10.1016/j.iref.2023.10.040>
- Arrighi, G. (1996). *O longo século XX: dinheiro, poder e as origens de nosso tempo*. Contraponto; Editora UNESP.
- Aslam, F., Ali, I., Fahd, A., Ali, H., & Irfan, I. (2023). On the inner dynamics between fossil fuels and the carbon market: A combination of seasonal-trend decomposition and multifractal cross-correlation analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 25873–25891. <https://dx.doi.org/10.1007/s11356-022-23924-7>
- Azlen, M., Gostlow, G., & Child, A. (2022). The carbon risk premium. *The Journal of Alternative Investments*, 25(1), 33–64. <https://dx.doi.org/10.3905/jai.2022.1.166>
- Berta, N., Gautherat, E., & Gun, O. (2017). Transactions in the european carbon market: A bubble of compliance in a whirlpool of speculation. *Cambridge Journal of Economics*, 41(2), 575–593. <https://dx.doi.org/10.1093/cje/bew041>
- Billimoria, F., Mays, J., & Poudineh, R. (2025). Hedging and tail risk in electricity markets. *Energy Economics*, 141, 108132. <https://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2024.108132>
- Bleuel, S., & Müller, C. (2024). Unlocking the potential: Expert insights on the long-term compatibility of forest carbon credits with the eu ets. *Forest Policy and Economics*, 160, 103155. <https://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2024.103185>
- Burtraw, D., Sweeney, R., & Walls, M. (2009). The incidence of u.s. climate policy: Alternative uses of revenues from a cap-and-trade auction. *National Tax Journal*, 62(3), 497–518. <https://dx.doi.org/10.17310/ntj.2009.3.09>
- Campiglio, E. (2016). Beyond carbon pricing: The role of banking and monetary policy in financing the transition to a low-carbon economy. *Ecological Economics*, 121, 220–230. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.03.020>
- Chen, Y., Qu, F., Li, W., & Chen, M. (2019). Volatility spillover and dynamic correlation between the carbon market and energy markets. *Journal of Business Economics and Management*, 20(5), 979–999. <https://dx.doi.org/10.3846/jbem.2019.10762>

- Cherrier, B. (2017). Classifying economics: A history of the jel codes. *Journal of Economic Literature*, 55(2), 545–579. <https://dx.doi.org/10.1257/jel.20151296>
- Cong, Y., Zhang, W., Cai, X., & Tian, S. (2024). Hybrid deep learning approaches for high-frequency carbon prices forecasting. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5020501>
- Cooke, A., Smith, D., & Booth, A. (2012). Beyond pico: The spider tool for qualitative evidence synthesis. *Qualitative Health Research*, 22(10), 1435–1443. <https://dx.doi.org/10.1177/1049732312452938>
- Demiralay, S., Gencer, H. G., & Bayraci, S. (2022). Carbon credit futures as an emerging asset: Hedging, diversification and downside risks. *Energy Economics*, 113, 106196. <https://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106196>
- Ding, Y., Bi, C., & Sun, P. (2025). Low carbon constraints, innovation driven and carbon neutral technological innovation. *Scientific Reports*, 15, 22912. <https://dx.doi.org/10.1038/s41598-025-06207-2>
- Dou, Y., Li, Y., Dong, K., & Ren, X. (2022). Dynamic linkages between economic policy uncertainty and the carbon futures market. *Resources Policy*, 75, 102455. <https://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102455>
- Düsterhöft, M., Schiemann, F., & Walther, T. (2023). Let's talk about risk! stock market effects of risk disclosure for european energy utilities. *Energy Economics*, 125, 106794. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106794>
- Ekholm, T. (2020). Optimal forest rotation under carbon pricing and forest damage risk. *Forest Policy and Economics*, 115, 102131. <https://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102131>
- Ellerman, A. D., & Buchner, B. K. (2007). The european union emissions trading scheme. *Review of Environmental Economics and Policy*, 1(1), 66–87. <https://dx.doi.org/10.1093/reep/rem003>
- European Securities and Markets Authority (ESMA). (2024). *Market report on EU carbon markets — 2024* (tech. rep. No. ESMA50-43599798-10379). European Securities and Markets Authority. https://www.esma.europa.eu/sites/default/files/2024-10/ESMA50-43599798-10379_Carbon_markets_report_2024.pdf
- European Union. (2024, December 6). Regulation (EU) 2024/3012 establishing a union certification framework for permanent carbon removals, carbon farming and carbon storage in products. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/3012/oj/eng>
- Gilbertson, T. L. (2021). Financialization of nature and climate change policy. *Community Development Journal*, 56(1), 21–38. <https://dx.doi.org/10.1093/cdj/bsaa052>
- Giraudet, L., Bourgeois, C., & Quirion, P. (2021). Policies for low-carbon and affordable home heating. *Energy Policy*, 154, 112140. <https://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112140>
- Gren, I. (2024). A trading market for uncertain carbon removal by land use in the eu. *Forest Policy and Economics*, 159. <https://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2023.103127>
- Gren, I., & Aklilu, A. Z. (2016). Policy design for forest carbon sequestration. *Forest Policy and Economics*, 70, 128–136. <https://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2016.06.008>
- Guerreiro, S. F., Kaspary, R. M., de Souza, F. L. P., Martins, M. S., Campos, V., & Sartori, A. A. C. (2024). Integrating spectral indices to estimate biomass and carbon in grandis forests. *Geociências*, 43(3), 1–18. <https://dx.doi.org/10.5016/geociencias.v43i3.18171>
- Guerreiro, S. F., Sartori, A. A. C., Barbosa, F. T., Kaspary, R. M., Martins, M. S., & Marchiori, L. M. (2021). Estimativa de biomassa e carbono em floresta plantada adotando o modelo de schumacher & hall. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 14(Supl.2), 1–9. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14Supl.2.e8818>

- Gullo, M. C. (2010). O pensamento econômico e a questão ambiental: Uma revisão. <https://share.google/6BqccvttDlxfG8RQL>
- Haddaway, N. R., Page, M. J., Pritchard, C. C., & McGuinness, L. A. (2022). Prisma2020: An r package and shiny app. *Campbell Systematic Reviews*, 18, e1230. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36911350/>
- Isah, K. O., Adelakun, J. O., & Udeaja, E. A. (2024). Forecasting power of speculation in carbon prices. *Emerging Markets Finance and Trade*, 60(12), 2691–2702. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2024.2324194>
- Kangas, J., & Ollikainen, M. (2023). Behavioural and welfare analysis of an intermediary. *Environmental and Resource Economics*, 84, 1127–1154. <https://doi.org/10.1007/s10640-022-00751-5>
- Kindleberger, C. P., Aliber, R. Z., & McCauley, R. N. (2023). *Manias, panics, and crashes: A history of financial crises*. Palgrave Macmillan.
- Kovacs, K. F., Haight, R. G., Moore, K., & Popp, M. (2021). Afforestation for carbon sequestration. *Forest Policy and Economics*, 130, 102526. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102526>
- Lamperti, F., Bosetti, V., Roventini, A., Tavoni, M., & Treibich, T. (2021). Three green financial policies to address climate risks. *Journal of Financial Stability*, 54, 100875. https://econpapers.repec.org/paper/ssalemwps/2021_2f05.htm
- Lessmann, K., & Kalkuhl, M. (2024). Climate finance intermediation. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 11(1), 213–251. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/725920?journalCode=jaere>
- Luo, L., Gao, Y., Regan, C. M., Summers, D. M., Connor, J. D., O'Hehir, J., Meng, L., & Chow, C. W. K. (2023). Emissions offset incentives and timber plantations. *Forest Policy and Economics*, 157, 103125. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2023.103125>
- Maraseni, T., & Reardon-Smith, K. (2019). Meeting national emissions reduction obligations. *Energies*, 12(3), 438. <https://doi.org/10.3390/en12030438>
- Millard-Ball, A. (2012). The trouble with voluntary emissions trading [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeem.2012.05.007>]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 64(1), 40–55. <https://share.google/e0YHzP2zMEv9xXIWm>
- Monasterolo, I., & Raberto, M. (2018). The impact of phasing out fossil fuel subsidies. *Energy Policy*, 124, 355–370. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.051>
- Morão, H. (2024). The impact of carbon policy news on the national energy industry. *Energy Economics*, 134, 107596. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107596>
- Motel, P., Pirard, R., & Combes, J. (2009). A methodology to estimate impacts of domestic policies on deforestation. *Ecological Economics*, 68(3), 680–691. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.001>
- Ohlendorf, N., Flachsland, C., Nemet, G. F., & Steckel, J. C. (2022). Carbon price floors and low-carbon investment. *Energy Policy*, 169, 113187. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113187>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The prisma 2020 statement. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

- Rethlefsen, M. L., Kirtley, S., Waffenschmidt, S., Ayala, A. P., Moher, D., Page, M. J., Koffel, J. B., & Group, P.-S. (2021). Prisma-s extension. *Systematic Reviews*, 10, 39. <https://doi.org/10.5195/jmla.2021.962>
- Sabadini, M. S. (2013). Financial speculation and contemporary capitalism. *Economia e Sociedade*, 22(3), 583–608. <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/ecos/article/view/8642177>
- Santos, M. (1996). *Da natureza do espaço*. EDUSP. <https://share.google/SaW86lcibAO8nBX7c>
- Santos, M. (2000). *Por uma outra globalização*. Record.
- Scherger, S. (2024). Unpacking the eu carbon removal certification framework. <https://www.iatp.org/unpacking-eu-crcf>
- Schippers, E. J., & Massol, O. (2021). Unlocking co₂ infrastructure deployment [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113265>]. *Energy Policy*. <https://hal.science/hal-03893021/>
- Sitarz, J., Pahle, M., Osorio, S., Luderer, G., & Pietzcker, R. (2024). Eu carbon prices signal high policy credibility. *Nature Energy*. <https://doi.org/10.1038/s41560-024-01505-x>
- Tee, J., Scarpa, R., Marsh, D., & Guthrie, G. (2014). Forest valuation under the new zealand ets. *Land Economics*, 90(1), 44–60. <http://www.jstor.org/stable/24243730>
- Tu, Q., Mo, J., Liu, Z., Gong, C., & Fan, Y. (2021). Using green finance to counteract the adverse effects of covid-19 pandemic on renewable energy investment: The case of offshore wind power in china. *Energy Policy*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112542>
- UNFCCC. (2015). Paris agreement. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- van Kooten, G. C. (2023). Determining optimal forest rotation ages. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 71(2), 255–272. <https://doi.org/10.1111/cjag.12333>
- van Vuuren, D. P., van der Wijst, K. I., Marsman, S., van den Berg, M., Hof, A. F., & Jones, C. D. (2020). Costs of achieving climate targets. *Nature Climate Change*, 10, 329–334. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0732-1>
- Wu, R., & Qin, Z. (2021). Assessing market efficiency and liquidity. *Science of the Total Environment*, 769, 144707. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144707>
- Yeh, S., Burtraw, D., Sterner, T., & Greene, D. L. (2021). Tradable performance standards in transport. *Energy Economics*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105490>
- Zhang, L., Zhang, K., & Bilan, Y. (2024). Green financial policy and investment-financing maturity mismatch. *Journal of Business Economics and Management*, 25(3), 590–611. <https://doi.org/10.3846/jbem.2024.21609>

Gramáticas de exclusão: demografia, desinformação e democracia nas geografias humanas contemporâneas

Grammars of exclusion: demography, disinformation and democracy in contemporary human geographies

Inês Sousa *¹

¹Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra

Resumo

Este artigo propõe uma leitura crítica e multidisciplinar das articulações entre demografia, desinformação e democracia, argumentando que as transformações populacionais contemporâneas constituem um terreno privilegiado de disputa política e simbólica. Partindo de uma perspectiva situada nos estudos críticos de fronteira e migração, e em diálogo com contributos das relações internacionais, da geografia humana crítica e da ciência política. O texto analisa de que forma o conhecimento demográfico pode produzir gramáticas de exclusão, como conjuntos articulados de narrativas, categorias e práticas que organizam o acesso diferenciado à pertença, à dignidade e a direitos fundamentais. O artigo apresenta o caso ilustrativo da figura do migrante, historicamente construído como sujeito ambivalente, entre contributo necessário e ameaça simultânea. A ambivalência constitui a estrutura narrativa que sustenta culturas de controlo de fronteira e práticas de exclusão espacialmente situadas. A desinformação em Portugal ilustra como estas gramáticas se sedimentam no debate público contemporâneo. Conclui-se que a qualidade da democracia depende da capacidade de as sociedades resistirem à naturalização de hierarquias de dignidade e de construírem políticas de pertença assentes em direitos humanos.

Palavras-chave: Demografia. Desinformação. Democracia. Gramáticas de exclusão. Geografias humanas. Políticas de pertença.

Abstract

This article proposes a critical and multidisciplinary reading of the articulations between demography, disinformation and democracy, arguing that contemporary population transformations constitute a privileged terrain of political and symbolic contestation. Drawing on critical border and migration studies, and in dialogue with contributions from international relations, critical human geography and political science, the text analyses how demographic knowledge can produce grammars of exclusion articulated sets of narratives, categories and practices that organise differentiated access to belonging, dignity and fundamental rights. The article develops the illustrative case of the migrant figure, historically constructed as an ambivalent subject, at once a necessary contribution and a simultaneous threat. This ambivalence constitutes the narrative structure underpinning cultures of border control and spatially situated practices of exclusion. The Portuguese case of disinformation illustrates how these grammars become sedimented in contemporary public debate. It concludes that the quality of democracy depends on the capacity of societies to resist the naturalisation of hierarchies of dignity and to build politics of belonging grounded in human rights.

Cadernos de
Geografia

doi: https://doi.org/10.14195/0871-1623_53_8

Recebido a:
6 de maio de 2026
Aprovado a:
25 de maio de 2026

*Email: i.sousa@fe.uc.pt

Keywords: Demography. Disinformation. Democracy. Grammars of exclusion. Human geographies. Politics of belonging.

1. Introdução: o triângulo conceptual

A articulação entre os conceitos de demografia, desinformação e democracia constitui um dos nós mais complexos da política contemporânea. À primeira vista, estas três dimensões pertencem a campos distintos do conhecimento académico tradicional, nomeadamente a análise estatística das populações, a comunicação mediática e a teoria política das instituições. Contudo, de acordo com uma leitura mais atenta, verifica-se que estão profundamente interligadas, numa dinâmica de co-constituição que importa compreender, tanto do ponto de vista analítico como normativo. A complexidade de cada um destes fenómenos exige, por isso, uma abordagem multidisciplinar, tributária do período da tradição iluminista, de interrogação crítica da realidade social a partir de múltiplos campos do saber.

A demografia, por definição, não pode ser apenas estudada de acordo com uma prática de contagem neutra de pessoas. É, primordialmente, uma forma de produzir conhecimento sobre a sociedade, as suas transformações, os seus equilíbrios e as suas possibilidades futuras. Alguns autores têm questionado a pretensão de neutralidade que acompanhou a consolidação da disciplina como ciência social. Greenhalgh (1996) demonstrou como a ciência demográfica do século XX foi moldada por contextos intelectuais, institucionais e políticos específicos que determinaram quais as questões consideradas legítimas e quais as populações consideradas problemáticas. Ortega (2023), retomando este argumento, propõe enquadrar a demografia como um regime de saber-poder, no sentido foucaultiano, que está longe de ser politicamente indiferente às hierarquias que descreve. Quando falamos, portanto, de fenómenos como o envelhecimento populacional, a natalidade, a mobilidade humana ou a distribuição territorial, falamos também de dimensões politicamente sensíveis: de quem é contado, de quem é representado como parte da comunidade e de quem aparece como ameaça ao seu equilíbrio.

A desinformação emerge, neste contexto, não apenas como problema de comunicação, mas como mecanismo de disputa da realidade. Na literatura de ciência política e comunicação política, a desinformação tem vindo a ser distinguida de conceitos próximos, como a desinformação não intencional (misinformation) ou a propaganda, pelo critério da intencionalidade e pelo papel ativo que desempenha na estruturação do debate público (Freelon & Wells, 2020). Bennett & Livingston (2021) argumentam que a ideia da desinformação não é apenas um problema de circulação de conteúdos falsos, mas uma crise estrutural das condições institucionais e mediáticas que tornavam possível uma esfera pública comum. Tucker et al. (2018) numa revisão abrangente da literatura sobre redes sociais, polarização e desinformação, mostram como estes fenómenos se reforçam mutuamente, e criam ecologias de informação em que a desinformação tem vantagens sistémicas de difusão face ao conhecimento rigoroso. A desinformação tem, por definição, o objetivo de manipular dados, através da descontextualização de imagens, da transformação de casos individuais em pa-

drões coletivos. Mais ainda, há uma intenção de conversão de problemas estruturais, em culpa atribuída a grupos específicos. Para além disso, destaca-se ainda que a natureza desta narrativa substitui a complexidade da realidade social, por explicações emocionalmente eficazes na captação da atenção, mas politicamente perigosas.

Quando aplicada a temas demográficos, a desinformação torna-se particularmente poderosa, porque trabalha com medos profundos; destes, destacam-se o medo de perda, de substituição, o medo de contextos de perda de paz social ou da disseminação de conflitualidade violenta entre grupos. E quando estes medos são politicamente organizados, deixam de ser emoções sociais dispersas e tornam-se instrumentos de legitimação de práticas discriminatórias e/ou de exclusão. A história do século XX oferece exemplos sobejamente documentados deste processo: dos programas de restrição à imigração nos Estados Unidos nas décadas de 1920 e 1930, fundados em teorias eugénicas sobre a degenerescência racial das populações do Sul e do Leste europeus (Ngai, 2004), às políticas de “pureza nacional” que percorreram a Europa central e oriental no mesmo período (Gatrell, 2019), até às ondas de hostilidade anti-imigrante que, nas décadas de 1970 e 1980, acompanharam as crises económicas nos países de destino dos trabalhadores convidados do pós-guerra (Castles, 1986).

Este artigo parte da ideia central de que as sociedades democráticas não são ameaçadas apenas pela ausência de direitos formais, mas também pela produção contínua de categorias de pessoas cuja dignidade é politicamente fragilizada. A partir deste enquadramento, este artigo tem como objetivos: 1) propor o conceito de “gramáticas de exclusão” como ferramenta analítica para compreender o modo como narrativas, categorias e práticas se articulam em conjuntos que organizam o acesso diferenciado à pertença e aos direitos; 2) perceber como essas gramáticas se inscrevem no espaço, produzindo geografias humanas diferenciadas.

No que respeita à metodologia adotada, o artigo inscreve-se numa abordagem de carácter analítico-teórico, alicerçada na revisão crítica da literatura científica considerada fundamental para o enquadramento do objeto de estudo.

2. *A construção demográfica do migrante: entre o excesso, o risco e o outro*

A figura do migrante ocupa um lugar paradoxal no pensamento demográfico e nas políticas públicas contemporâneas. Por um lado, é convocada como solução para os “problemas” que a demografia descreve: o envelhecimento das populações europeias, a insustentabilidade dos sistemas de proteção social, a escassez de mão-de-obra em sectores específicos. Por outro lado, é muitas vezes enquadrada por alguns meios de comunicação ou atores políticos como ameaça à coesão social, à identidade cultural, à segurança pública, ao equilíbrio dos serviços. Esta dupla posição que ganha forma no antagonismo – produtivo e perturbador –, não é uma contradição accidental. Com efeito esta é a estrutura narrativa que, de forma instrumental, tem estado na base da governação da mobilidade humana nas sociedades contemporâneas. É precisamente a esta projecção que a demografia crítica e os estudos de migração críticos respondem quando recusam tratar os números da migração como números e os leem, antes, como categorias politicamente produzidas (Greenhalgh, 1996; Ortega, 2023).

Para compreender a violência política desta ambivalência, é indispensável começar pelo que as gramáticas de exclusão sistematicamente ocultam. Deste quadro destaca-se o contributo histórico, económico e cultural da migração para o desenvolvimento das sociedades de destino. A historiografia europeia contemporânea tem demonstrado com crescente rigor que a história da Europa moderna é, em sentido profundo, uma história de pessoas em movimento. Gatrell (2019) mostra como a reconstrução europeia do pós-guerra, o crescimento económico dos chamados «trinta gloriosos» e a recomposição dos tecidos urbanos das grandes metrópoles ocidentais foram inseparáveis das vagas migratórias que as alimentaram, da imigração italiana, espanhola e portuguesa para o centro e norte da Europa, dos trabalhadores turcos na Alemanha, dos migrantes pós-coloniais no Reino Unido, em França e nos Países Baixos. A prosperidade europeia do século XX não foi produzida apesar da migração, mas em grande medida através dela. De Haas, Castles e Miller (2020), na obra de referência sobre a era da migração, demonstram que esta dinâmica representa um padrão estrutural: as sociedades que cresceram e se diversificaram fizeram-no invariavelmente através de encontros, trocas e recomposições impulsionadas pela mobilidade humana.

Esta dimensão é ainda mais evidente quando se considera a escala urbana. Sassen (1991) demonstrou que as grandes cidades globais, Nova Iorque, Londres, Tóquio, e mais tarde muitas outras, são a projeção real do esforço da mão-de-obra migrante, que sustenta tanto os seus sectores mais qualificados académica e tecnicamente, como os sectores de proximidade, de cuidados, de construção e de logística que os tornam funcionais. A cidade global é, nesta leitura, uma formação simultaneamente económica e cultural. Esta cidade depende da diversidade das populações que a habitam, na medida em que as suas capacidades de inovação, de adaptação e de mediação cultural são inseparáveis da pluralidade de origens e das experiências dos seus habitantes. Portes & Rumbaut (2006), no estudo clássico sobre a América imigrante, mostram como as comunidades migrantes não se limitam a adaptar-se às sociedades de destino, mas as transformam ativamente. Os autores lembram, a título ilustrativo, como na gastronomia, na música, nas artes, na arquitetura, no comércio, na medicina, na ciência e na vida política a as histórias humanas dão forma a um espaço de desenvolvimento. As reflexões destes historiadores e cientistas refletem assim a recusa da narrativa da migração como problema.

Esta construção do migrante como figura ambivalente tem sido tratada por várias áreas do conhecimento. Didier Bigo (2002) da chamada escola de Paris, uma vertente crítica que se posiciona na interseção entre os Estudos de Segurança e as Relações Internacionais (RI), argumentou que a associação entre mobilidade humana e risco não resulta de evidências empíricas sobre comportamentos ou impactos, resulta de um trabalho ativo de categorização, produzido por redes profissionais, burocráticas e securitárias que, ao longo de décadas, sedimentaram a equivalência entre “migrante”, “imigrante irregular” e “ameaça”. Huysmans (2006) demonstrou como, no contexto europeu, este processo assumiu a forma de uma securitização progressiva da migração: a mobilidade humana foi transformada em questão de segurança interna, de ordem pública, de identidade coletiva. O resultado não é apenas uma

política mais restritiva: é uma cultura de suspeição que organiza os modos como determinados corpos são olhados, tratados e governados no espaço público.

É aqui que a contribuição de Zaiotti se revela particularmente fecunda. Em *Cultures of Border Control* (2011), Zaiotti argumenta que os regimes de fronteira não operam apenas através de leis e dispositivos técnicos, mas através de “culturas”; de conjuntos de pressupostos partilhados, de categorias cognitivas e de práticas institucionalizadas que definem o que é normal, racional e necessário em matéria de controlo da mobilidade. Estas culturas não são transparentes aos olhos dos seus próprios praticantes: são precisamente a dimensão tácita que torna certas formas de tratamento das populações impensáveis de questionar.

Estas culturas de controlo partilham, independentemente das suas variações nacionais e temporais, uma gramática implícita de valorização diferencial das pessoas em movimento: o turista e o trabalhador qualificado circulam livremente, o requerente de asilo e o trabalhador não qualificado do Sul global são tratados como excesso ou risco. Esta assimetria não é apenas económica, é também racial, de género e de classe. Mezzadra & Neilson (2013) descrevem-na como a multiplicação das fronteiras: não existe uma única linha entre dentro e fora, mas um continuum de posições diferenciadas no acesso ao trabalho, aos direitos e ao reconhecimento, produzido pela proliferação de estatutos jurídicos, procedimentos administrativos e categorias populacionais.

A tradição dos estudos críticos converge num ponto essencial: a recusa da neutralidade dos números e das categorias. Destaca-se então que, ao apontar um “imigrante irregular”, “um trabalhador estrangeiro”, “um refugiado” as estatísticas demográficas estão a produzir categorias que organizam formas de tratamento. Estas formas de tratamento são moldadas e moldam narrativas particulares com impacto institucional, mediático e no dia a dia em escolas, bairros e comunidades. Em última análise, as narrativas influenciam a identificação de sujeitos políticos com graus diferenciados de visibilidade. De Genova (2017) designa este processo como a produção política da ilegalidade, que ganha forma através da categorização. Quando uma pessoa é reduzida a uma categoria administrativa, ou a uma figura de risco, o não reconhecimento da sua humanidade precede e legitima todas as formas subsequentes de tratamento. É esta lógica que compromete as condições concretas de integração, de respeito e de dignidade.

3. Gramáticas de exclusão: narrativas, categorias e práticas espaciais

O conceito de gramáticas de exclusão aqui apresentado designa conjuntos articulados de narrativas, categorias e práticas que, operando em diferentes escalas e registos, organizam o acesso diferenciado à pertença, à dignidade e aos direitos. A noção de gramática é aqui deliberada; tal como uma gramática linguística define as regras que tornam certas expressões possíveis e outras impossíveis, uma gramática de exclusão define as categorias e as distinções que tornam certas formas de tratamento das populações possíveis.

As gramáticas de exclusão operam em três registos articulados. No registo narrativo, produzem histórias sobre quem pertence à comunidade e quem a ameaça,



Figura 1. Os três registos articulados das gramáticas de exclusão.

quem contribui e quem sobrecarrega. No registo categorial, criam distinções, legal/i-legal, produtivo/dependente, que organizam hierarquias de dignidade e determinam o acesso a direitos, serviços e reconhecimento. No registo prático, traduzem-se em procedimentos administrativos, arquiteturas materiais, políticas de habitação, práticas de policiamento e formas quotidianas de interação que inscrevem as distinções categoriais no espaço e nos corpos.

Esta tripla articulação é precisamente o que torna as gramáticas de exclusão politicamente eficazes e analiticamente urgentes: elas não existem apenas ao nível do discurso, mas materializam-se em práticas espaciais que produzem geografias diferenciadas de exclusão (Cresswell, 1996; Pain, 2009). A naturalização destas geografias e, no quadro mediático, a sua apresentação como resposta racional a riscos objetivos, dificultam o processo da sua contestação. Por outras palavras, quando uma categoria de pessoas é sistematicamente associada ao perigo, à dependência ou à incompatibilidade, as práticas que as controlam, limitam ou excluem, deixam de parecer discriminatórias e passam a ser “aceites”.

A geografia crítica oferece aqui um contributo notório. Na tradição inaugurada por Lefebvre (1991) e desenvolvida por Harvey (1973) e Massey (1994), a projeção do espaço não é um dado natural sobre o qual os fenómenos sociais se desenvolvem. Este espaço é entendido como um produto, uma representação imaginária que relações de poder. As gramáticas de exclusão são, neste sentido, também gramáticas de produção espacial, ao definirem quem pertence e quem não pertence, quem tem direito à cidade e quem é tratado como corpo fora do lugar (Cresswell, 1996). Lacoste (1976) argumentou que a geografia serve, antes de mais, para fazer a guerra, isto é, que o conhecimento geográfico é também instrumental.

As gramáticas de exclusão têm também, neste sentido, uma dimensão de deslocamento político. Em vez de questionar as causas estruturais das desigualdades, a precarização do trabalho, o subfinanciamento dos serviços públicos, a concentração de riqueza, a erosão dos mecanismos de proteção social, estas narrativas deslocam a

culpa para atores politicamente vulneráveis. Esta operação não é apenas discursiva: reorganiza responsabilidades, redistribui inseguranças e produz geografias do medo (Pain, 2009) que organizam o espaço social de forma diferenciada.

Nira Yuval-Davis (2006, 2011) fornece um instrumental analítico complementar através do conceito de políticas da pertença. A pertença não é apenas uma experiência subjetiva de ligação a uma comunidade: é também um processo de definição de quem pertence, em que condições e com que direitos. As gramáticas de exclusão são, neste sentido, um enquadramento narrativo, de regras implícitas que determinam quem pode reivindicar o reconhecimento de membro pleno da comunidade política e quem deve permanecer numa condição de presença sem reconhecimento (Honneth, 1995).

4. Desinformação demográfica e erosão democrática

A desinformação sobre temas demográficos é particularmente eficaz no quadro social e das sociedades ditas desenvolvidas contemporâneas, precisamente porque ativa gramáticas de exclusão já disponíveis no repertório cultural e político.

A desinformação articula-se com estruturas preexistentes de medo, desigualdade e hierarquia, e oferece-lhe uma linguagem aparentemente factual. Desta forma, uma alegação falsa sobre criminalidade ou sobre privilégios no acesso a apoios sociais não precisa de ser rigorosamente acreditada para ser politicamente eficaz, basta ativar a categoria, reforçar a suspeição, sedimentar a distinção.

Freelon & Wells (2020) argumentam que a desinformação deve ser entendida como comunicação política, não como simples falha de informação, mas como forma de ação que visa estruturar o campo do debate público em benefício de determinados atores. Esta perspetiva é essencial para compreender por que razão os desmentidos factuais têm efeitos tão limitados: não é de factos que se trata, mas de perceções. Bennett & Livingston (2021) mostram como a desinformação prospera precisamente onde as instituições que antes garantiam condições partilhadas de inteligibilidade pública, os partidos, a imprensa de referência, a ciência, perderam credibilidade. Neste âmbito surge a necessidade de conhecer as plataformas que reforçam estas narrativas, Tucker et al. (2018) documentam, a título ilustrativo como as redes sociais criam assimetrias de difusão que privilegiam sistematicamente o conteúdo emocionalmente ativado e categorialmente simples.

A desinformação demográfica opera através de vários mecanismos que merecem atenção específica. Primeiro, a concentração territorial: ao localizar casos individuais em espaços específicos, produz geografias do risco que estigmatizam lugares e comunidades. Segundo, a generalização categorial: transforma incidentes particulares em padrões coletivos atribuídos a grupos étnicos, nacionais ou religiosos, naturalizando a associação entre grupo e comportamento. Terceiro, o deslocamento estrutural: ao atribuir a grupos específicos a responsabilidade por problemas como a crise da habitação ou a pressão sobre os serviços públicos, oculta as causas estruturais e desvia a exigência de responsabilização política.

A teoria da Grande Substituição constitui um exemplo paradigmático. Trata-se de uma teoria de supremacia branca, com origens em círculos neo-fascistas, que

afirma que as elites ocidentais conspiram para substituir a população «branca» através da imigração em massa proveniente do Sul global (Feola, 2021; Maher, 2025). Popularizada pelo escritor francês Renaud Camus a partir de 2011, a teoria tem sido associada a múltiplos ataques terroristas de extrema-direita, incluindo o massacre de Christchurch (2019), cujo manifesto se intitulava «The Great Replacement» (Bracke & Hernández Aguilar, 2024; Feola, 2021). Feola (2021) descreve esta teoria como uma política de ressentimento e perda que converte ansiedades demográficas em projetos políticos de carácter antidemocrático e potencialmente violento. Bracke & Hernández Aguilar (2024) mostram como a teoria é uma formação discursiva flexível e que está a ser constantemente reescrita. Esta articula com o racismo, a islamofobia, o antissemitismo, os ataques ao feminismo e à diversidade de género, e o eco-fascismo, adaptando-se a contextos nacionais específicos enquanto mantém intacto o núcleo duro: a ideia de uma conspiração para substituir populações brancas por não-brancas. Maher (2025) analisa a versão neoliberal desta teoria, mostrando como o discurso da Grande Substituição se hibridizou com a crítica às «elites globalistas», tornou-se desta forma mais atrativa a audiências que rejeitariam a versão explicitamente supremacista. A operação narrativa que subjaz a todas estas versões é, contudo, a mesma: constrói um «nós» como puro, estável e ameaçado, e um «eles» como excesso ou perigo. A crítica desta perspetiva, passa por demonstrar que as identidades não são essências fixas territorialmente enraizadas, mas construções históricas, relacionais e políticas (Massey, 2004), e que a mobilidade é uma constante estrutural dos territórios humanos e não uma anomalia contemporânea.

O impacto da dinâmica de desinformação sobre a democracia é profundo e transversal a várias áreas do conhecimento, como a saúde, o clima, entre outros. A democracia, foco desta análise, precisa de pluralismo, de conflito de ideias e de deliberação pública assente em condições de inteligibilidade. Quando a desinformação se instala no centro do debate democrático, degrada-se não apenas a qualidade da informação, mas a própria possibilidade de deliberação coletiva (Habermas, 1989).

5. O caso português: especificidades e contradições

Portugal confronta-se com um processo acelerado de envelhecimento populacional, baixas taxas de natalidade e uma crescente dependência de fluxos migratórios para a sustentabilidade do mercado de trabalho e do sistema de segurança social. Segundo dados do Instituto Nacional de Estatística (INE, 2023), a população estrangeira residente em Portugal atingiu valores históricos, ultrapassando um milhão de pessoas, uma transformação demográfica com implicações profundas para as políticas públicas e para a composição social do território.

A investigação desenvolvida pelo MediaLab CIES-ISCTE no âmbito do consórcio (MediaLab CIES-ISCTE & Iberifier, 2023) documentou os contornos específicos da desinformação em Portugal, com base em entrevistas a diretores e editores de meios de comunicação. Os resultados revelam que a imigração se consolidou como o principal tema de desinformação no país, através de narrativas que a associam sistematicamente à insegurança, ao abuso de apoios sociais e à deterioração da identidade nacional. Uma análise mais recente (MediaLab ISCTE, 2026) identifica as técnicas

predominantes nesta desinformação: a descontextualização de imagens e vídeos, a generalização de casos individuais para caracterizar comunidades inteiras e a mobilização emocional de medos difusos. Reconhece-se aqui uma gramática de exclusão articulada e coerente: a pessoa migrante é construída simultaneamente como fardo, como risco e como aproveitador.

Contudo, é essencial evitar uma leitura simplista. Estas narrativas não são apenas importadas de outros contextos europeus: encontram terreno fértil em desigualdades já existentes, em precariedades materiais e em memórias políticas pouco discutidas.

Portugal cultivou durante muito tempo uma autoimagem de país tolerante e aberto, uma autoimagem que a crítica pós-colonial tem demonstrado merecer análise cuidadosa (Bastos, 2008; Jerónimo, 2015). O país é simultaneamente marcado por uma história colonial que produziu hierarquias raciais persistentes, por formas contemporâneas de precarização laboral, que afetam de forma desproporcionada a população migrante, e por hierarquias concretas de cidadania que limitam a plena participação de amplos segmentos da população residente.

Geograficamente, estas dinâmicas não se distribuem de modo uniforme pelo território. A concentração de população migrante em determinadas áreas metropolitanas e em sectores específicos da economia, agricultura intensiva (no Alentejo a título ilustrativo), construção, restauração, logística, trabalho doméstico e de cuidados, produz geografias de vulnerabilidade e de invisibilidade que a gramática da desinformação tende a explorar.

A investigação e o conhecimento sobre a geografia e a demografia do território podem dar um contributo fundamental neste contexto, ao produzir conhecimento situado sobre as comunidades e localidades concretas, ao visibilizar e conhecer quadros de desigualdade e ou integração. O conhecimento pode desnaturalizar as gramáticas que transformam problemas estruturais em culpa atribuída a grupos de pessoas em adaptação ao contexto local.

6. Notas conclusivas: por uma política democrática da pertença

O quadro analítico desenvolvido neste artigo permite concluir o modo como o conhecimento demográfico é produzido e comunicado, nos planos académico, institucional e mediático, tem influência sobre quem é reconhecido como sujeito de direitos, e com que possibilidades concretas de pertença, de proteção e de participação. Partindo deste pressuposto, este artigo procurou identificar e analisar as gramáticas de exclusão e de desinformação que estruturam alguns dos debates mais intensos da política contemporânea, tendo como eixo central a qualidade da democracia. O argumento desenvolvido ao longo do texto propõe que a articulação entre demografia, desinformação e democracia é constitutiva dos modos como as sociedades contemporâneas produzem e reproduzem hierarquias de pertença, de dignidade e, consequentemente de acesso a direitos.

Uma democracia que aceita hierarquias de dignidade enfraquece a sua própria promessa. Por outras palavras, assume-se que caso a dignidade dependa do passaporte, da produtividade económica, da origem, da religião, da conformidade cultural,

do género ou do estatuto administrativo, então já não estamos perante uma conceção de direitos humanos, mas perante uma dignidade condicional.

A resposta a este fenómeno implica desconstruir ativamente as gramáticas de exclusão e de discriminação que circulam no espaço público. Esta não é apenas uma tarefa académica, é uma tarefa política que exige o desenvolvimento de gramáticas de respeito e promoção de direitos humanos, de reforço positivo, de reconhecimento de todos os habitantes do território, independentemente do seu estatuto administrativo. Adicionalmente, nota-se que as gramáticas de pertença democrática precisam de ser construídas, através de políticas públicas que reforcem o acesso a uma vida digna para todas as pessoas.

Uma política democrática da pertença não se traduz na ausência de regulação. Traduz-se em regulação que deve ter limites normativos claros: direitos humanos, igualdade perante a lei, proteção contra a exploração e recusa da desumanização. A dificuldade deste desígnio é real e não deve ser subestimada. Mas a dificuldade não é isenção: é precisamente porque a exclusão se sedimenta em estruturas espaciais, institucionais e discursivas de longa duração que a sua transformação exige um compromisso por parte de todos os atores; com capacidade de influenciar os termos em que as populações são categorizadas, representadas e consequentemente, governadas.

Bibliografia

- Bastos, C. (2008). Luso-Tropicalism and Its Discontents. *Postcolonial Studies*, 11(2), 185–202. <https://doi.org/10.1080/13688790802006053>
- Bennett, W. L., & Livingston, S. (Ed.). (2021). *The Disinformation Age: Politics, Technology, and Disruptive Communication in the United States*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108914628>
- Bigo, D. (2002). Security and Immigration: Toward a Critique of the Governmentality of Unease. *Alternatives: Global, Local, Political*, 27(1_suppl), 63–92. <https://doi.org/10.1177/030437540202705105>
- Bracke, S., & Hernández Aguilar, L. M. (Ed.). (2024). *The Politics of Replacement: Demographic Fears, Conspiracy Theories, and Race Wars*. Routledge.
- Cresswell, T. (1996). *In Place/Out of Place: Geography, Ideology, and Transgression*. University of Minnesota Press.
- De Genova, N. (Ed.). (2017). *The Borders of "Europe": Autonomy of Migration, Tactics of Bordering*. Duke University Press.
- Feola, M. (2021). "You Will Not Replace Us": The Melancholic Nationalism of Whiteness. *Political Theory*, 49(4), 528–553. <https://doi.org/10.1177/0090591720972745>
- Freelon, D., & Wells, C. (2020). Disinformation as Political Communication. *Political Communication*, 37(2), 145–156. <https://doi.org/10.1080/10584609.2020.1723755>
- Gatrell, P. (2019). *The Unsettling of Europe: How Migration Reshaped a Continent*. Basic Books.
- Greenhalgh, S. (1996). The Social Construction of Population Science: An Intellectual, Institutional, and Political History of Twentieth-Century Demography. *Comparative Studies in Society and History*, 38(1), 26–66. <https://doi.org/10.1017/S0010417500020119>

- Habermas, J. (1989). *The Structural Transformation of the Public Sphere: An Inquiry into a Category of Bourgeois Society*. MIT Press.
- Harvey, D. (1973). *Social Justice and the City*. Edward Arnold.
- Honneth, A. (1995). *The Struggle for Recognition: The Moral Grammar of Social Conflicts*. Polity Press.
- Huysmans, J. (2006). *The Politics of Insecurity: Fear, Migration and Asylum in the EU*. Routledge.
- INE. (2023). Estatísticas da população estrangeira residente em Portugal. <https://www.ine.pt>
- Jerónimo, M. B. (2015). *A diplomacia do colonialismo: Portugal e as potências europeias*. Edições 70.
- Lacoste, Y. (1976). *La géographie, ça sert, d'abord, à faire la guerre*. Maspero.
- Lefebvre, H. (1991). *The Production of Space* [Original work published 1974]. Blackwell.
- Maher, H. (2025). The Neoliberal Great Replacement Theory: On the Racialization of Markets and Migration. *Politics, Religion & Ideology*. <https://doi.org/10.1080/1600910X.2025.2499827>
- Massey, D. (2004). Geographies of Responsibility. *Geografiska Annaler: Series B, Human Geography*, 86(1), 5–18. <https://doi.org/10.1111/j.0435-3684.2004.00150.x>
- MediaLab CIES-ISCTE & Iberifier. (2023). Resultados de impacto da desinformação em Portugal: Entrevistas a diretores e editores. <https://iberifier.eu/app/uploads/2023/02/B.-ResultadosDesinformacaoeios.pdf>
- MediaLab ISCTE. (2026, janeiro). Como é feita a desinformação em Portugal? <https://www.publico.pt/2026/01/31/opinio/opinio/desinformacao-portugal-2163180>
- Mezzadra, S., & Neilson, B. (2013). *Border as Method, or, the Multiplication of Labor*. Duke University Press.
- Ortega, A. A. C. (2023). Toward Critical Demography 2.0. *Population, Space and Place*, 29(6), e2644. <https://doi.org/10.1177/19427786231176787>
- Pain, R. (2009). Globalized Fear? Towards an Emotional Geopolitics. *Progress in Human Geography*, 33(4), 466–486. <https://doi.org/10.1177/0309132508104994>
- Portes, A., & Rumbaut, R. G. (2006). *Immigrant America: A Portrait* (3ª ed.). University of California Press.
- Sassen, S. (1991). *The Global City: New York, London, Tokyo*. Princeton University Press.
- Tucker, J. A., Guess, A., Barberá, P., Vaccari, C., Siegel, A., Sanovich, S., Stukal, D., & Nyhan, B. (2018). Social Media, Political Polarization, and Political Disinformation: A Review of the Scientific Literature. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3144139>
- Yuval-Davis, N. (2006). Belonging and the Politics of Belonging. *Patterns of Prejudice*, 40(3), 197–214. <https://doi.org/10.1080/00313220600769331>
- Yuval-Davis, N. (2011). *The Politics of Belonging: Intersectional Contestations*. SAGE.

Envelhecer no Lugar em Territórios de Baixa Densidade: Acesso a Cuidados de Saúde e Ordenamento da Floresta como Fatores Críticos Identificados em contexto de Coinvestigação

Aging in Place in Low-Density Territories: Access to Health Care and Forest Management as Critical Factors Identified through Co-Research

Paulo Nossa ^{*1}, Sofia Vale Pereira ^{**2}, Margarida Lima ^{***3}, Cristina C. Vieira ^{****4} e Anabela Mota-Pinto ^{*****5}

¹Faculdade de Letras, CEGOT, Universidade de Coimbra, Coimbra 3004-530, Portugal

²Faculdade de Medicina, CIMAGO/iCBR. Universidade de Coimbra, Coimbra 3004-530, Portugal

³Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação, CINEICC. Universidade de Coimbra, Coimbra 3004-530, Portugal

⁴Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação, CINEICC. Universidade de Coimbra, Coimbra 3004-530, Portugal

⁵Faculdade de Medicina, CIMAGO/iCBR. Universidade de Coimbra, Coimbra 3004-530, Portugal

Resumo

O envelhecimento demográfico acelerado e a crescente concentração de populações idosas em territórios de baixa densidade colocam desafios estruturais às políticas públicas de saúde, de coesão territorial e de participação social. Este artigo descreve e analisa o projeto County Reporters 55+ (CR55+), desenvolvido no concelho de Arganil, Portugal, aplicando metodologia de coinvestigação, com o propósito de envolver ativamente adultos mais velhos na identificação de necessidades não satisfeitas e na construção participada de propostas de mudança nos territórios de residência, para que possam envelhecer no lugar. Participaram 14 coinvestigadores voluntários, residentes em três freguesias, com idade média de 64,5 anos e equilíbrio entre sexos. Ao longo de sete fases sequenciais, os coinvestigadores receberam formação em técnicas de entrevista e escuta ativa, recolha de dados mediante entrevistas, registo fotográfico e análise colaborativa em grupo focal. Os coinvestigadores identificaram, por consenso, quatro categorias de necessidades não satisfeitas: acesso e cuidados de saúde; gestão e ordenamento da floresta e perceção do risco; vida no lugar e topofilia; e empoderamento comunitário, inclusão e participação. As duas primeiras foram hierarquizadas como prioritárias e apresentadas publicamente a decisores políticos e

Cadernos de
Geografia

doi: https://doi.org/10.14195/0871-1623_53_9

Recebido a:
3 de junho de 2026
Aprovado a:
22 de junho de 2026

*Email: paulonossa@fl.uc.pt

**Email: spereira@fmed.uc.pt

***Email: mplima@fpce.uc.pt

****Email: vieira@fpce.uc.pt

*****Email: apinto@uc.pt

institucionais por porta-vozes eleitos pelos próprios coinvestigadores, consubstanciando um processo de reequilíbrio de poder entre residentes e decisores. Os resultados são consistentes com a literatura sobre envelhecimento no lugar em territórios de baixa densidade. O projeto demonstra que a coinvestigação constitui uma abordagem válida, potencialmente replicável e de baixo custo para ampliar a voz das populações idosas e qualificá-las como protagonistas ativas na construção de soluções para os territórios onde residem e pretendem continuar a envelhecer.

Palavras-chave: Coinvestigação. Envelhecimento no lugar. Territórios de baixa densidade. Participação. Portugal.

Abstract

The accelerating pace of demographic aging and the growing concentration of older populations in low-density territories pose structural challenges to public policies on health, territorial cohesion, and social participation. This article describes and analyzes the County Reporters 55+ (CR55+) project, developed in the municipality of Arganil, Portugal, applying a co-research methodology with the purpose of actively engaging older adults in identifying unmet needs and collaboratively building proposals for change in their residential territories so that they can age in place. Fourteen volunteer co-researchers participated, residing in three parishes, with a mean age of 64.5 years and a balanced sex distribution. Across seven sequential phases, co-researchers received training in interview techniques and active listening, collected data through interviews and photographic records, and engaged in collaborative analysis in a focus group format. Co-researchers identified, by consensus, four categories of unmet needs: healthcare access and provision; forest management and risk perception; place attachment and topophilia; and community empowerment, inclusion, and participation. The first two were prioritized and publicly presented to political and institutional decision-makers by spokespersons elected by the co-researchers themselves, embodying a power-rebalancing process between residents and decision-makers. The findings are consistent with the literature on aging in place in low-density territories. The project demonstrates that co-research constitutes a valid, potentially replicable, and low-cost approach to amplifying the voice of older populations and positioning them as active protagonists in building solutions for the territories where they live and intend to continue aging.

Keywords: Co-research. Aging in place. Low-density territories. Participation. Portugal.

1. Introdução

O envelhecimento constitui um dos processos demográficos mais marcantes do século XXI, com implicações profundas no acesso aos cuidados de saúde, à proteção social e à organização territorial. Portugal apresenta-se como um caso paradigmático à escala mundial. O país ocupa o 4.º lugar no mundo com maior proporção de população idosa e o 2.º lugar na União Europeia (UE) atrás da Itália. Em 2024, o índice de envelhecimento atingiu o valor médio nacional de 192,4 idosos por cada 100 jovens, e a idade mediana da população residente subiu para 47,3 anos, ao mesmo tempo que a proporção de idosos com 65 ou mais anos passou a representar 24,3% da população total. Este valor contrasta de forma assinalável com os 9,7% registados em 1970, o que evidencia a celeridade com que ocorreu esta transformação estrutural na sociedade portuguesa (INE, 2025). De igual modo, a idade mediana da população

na UE aumentou, em média, 2,5 anos na última década, ao passo que em Portugal esse aumento foi de 4,7 anos, o mais acelerado entre todos os Estados-membros (Eurostat, 2023). As projeções demográficas para as próximas décadas não apontam para uma inversão desta tendência. De acordo com o cenário central das Projeções de População Residente do INE (2025-2100), o agravamento do envelhecimento demográfico só tenderá a estabilizar a partir de 2060, prevendo-se que a proporção de idosos atinja 37,3% da população em 2100, face aos atuais 24,3%. Para 2050, especificamente, a idade mediana deverá atingir 50,9 anos para os homens e 54,4 anos para as mulheres, e o rácio de dependência dos idosos poderá passar dos atuais 39 para 73 idosos por cada 100 pessoas em idade ativa.

Perante isto, apesar de alguns constrangimentos e custos de contexto, o envelhecimento deve ser assumido como uma conquista civilizacional que resulta da conjugação de múltiplos fatores: melhoria das condições higiénico-sanitárias e assistenciais, dieta alimentar mais adequada, avanços na qualidade da habitação, aumento do rendimento disponível, progressos na escolaridade e aumento significativo da autonomia da mulher (Nossa & Mota-Pinto, 2020). O facto de se alcançar no triénio 2023-2025 uma esperança de vida à nascença de 81,75 anos (masculino: 78,9 anos; feminino: 84,2 anos; INE, 2026) não anula o imperativo de ampliar a esperança de vida saudável após os 65 anos, que em Portugal é de apenas 8,4 anos (9,1 anos masculino; 7,8 anos feminino), contrastando com os valores máximos de 14 e 13,9 anos atingidos pela Noruega e Suécia, respetivamente (Eurostat, 2025). Assim, a abordagem à questão do envelhecimento demográfico não deve ser observada como um risco ou uma ameaça, mas antes como um importante desafio às políticas públicas. As estratégias para o *envelhecimento ativo* enfatizam significativamente o pilar da *saúde* que, sendo importante, necessita de ser enquadrado por ações concretas que promovam e reforcem, em igual proporção, os pilares da *segurança* e da *participação* (WHO, 2015; ENEAS, 2017).

Associado à dinâmica do envelhecimento, importa também discutir o conceito de envelhecer no lugar (*aging in place*), o qual deve ser entendido, no seu sentido mais amplo, como a possibilidade de as pessoas idosas poderem envelhecer no ambiente ou na comunidade que elas próprias escolhem, garantindo o apoio social necessário para viver com segurança e de forma independente (WHO, 2015). Fonseca (2020, p. 22) sublinha que permanecer em casa durante o envelhecimento, mantendo o máximo possível de independência, privacidade, segurança, competência e controlo sobre o meio ambiente, constitui o objetivo central, salientando que o termo *place* se refere não apenas ao lugar de habitação, mas também à comunidade, composta pelo ambiente físico (ambiente circundante e serviços locais disponíveis) e social (familiares, amigos, vizinhos). De acordo com a WHO (2015), o processo de *aging in place* deve contemplar os 5 P's: *People, Place, Products, Person-centered services, Policy* (WHO, 2015), reconhecendo a necessidade de adaptação do ambiente físico e social à vida quotidiana, sabendo-se que a maioria das pessoas idosas deseja permanecer num ambiente familiar, contactar com a mesma vizinhança e manter a filiação com a mesma comunidade (Iecovich, 2014).

Este conceito adquire particular relevância em territórios de baixa densidade, como aquele onde foi realizada a investigação adiante apresentada, onde a desloca-

ção da pessoa idosa implica frequentemente a perda de relações sociais, mudanças nas rotinas diárias e alteração abrupta de estilos de vida (Costa-Font & Vilaplana-Prieto, 2022). Quando tal acontece, podemos estar no domínio do que Haesbaert (2004) denomina por *desterritorialização*, i.e., perda de referências espaciais (mas não a perda de espaço), que contribuem para um processo de desenraizamento involuntário, potenciador do enfraquecimento de autonomia e de liberdade, na apropriação simbólica e funcional do território. Segundo Fernandes (2008), o conceito de *desterritorialização* pode ser aplicado a contextos de efetiva instabilidade ou fragilização territorial, principalmente entre grupos socialmente mais excluídos ou profundamente segregados e, como tal, impossibilitados de construir e exercer efetivo controle sobre os seus territórios e sobre as suas vidas, empobrecendo assim a sua identidade.

A abordagem proposta neste artigo centra-se na temática da capacitação da pessoa idosa, especialmente da pessoa idosa residente em territórios de baixa densidade populacional e nos quais pretende continuar a residir, procurando reforçar o seu poder de participação, resultando na identificação de necessidades e prioridades auto-percebidas no acesso a serviços públicos de base local, com suporte no conceito de *co-research* discutido por Fudge et al. (2007), Buffel (2015, 2018, 2019) e James & Buffel (2022). A coinvestigação (*co-research*), enquanto abordagem metodológica, tem como propósito central possibilitar a participação ativa dos adultos mais idosos nos processos investigativos, capacitando-os para identificarem e transformarem os desequilíbrios de poder presentes nos seus territórios de pertença, com vista à melhoria das suas condições e qualidade de vida (James & Buffel, 2022).

No que concerne à acessibilidade a serviços, fator essencial para assegurar a possibilidade de permanência no lugar, Costa et al. (2020), retomando o modelo conceptual proposto por Penchansky e Thomas (1981), identificam cinco dimensões analíticas que estruturam este conceito: (1) disponibilidade; (2) acessibilidade; (3) custo; (4) comodidade e (5) aceitabilidade. A disponibilidade encontra-se condicionada pela oferta de serviços existente numa determinada área geográfica; a acessibilidade refere-se às barreiras de natureza física que se interpõem entre o utilizador e o serviço; o custo determina a capacidade efetiva de utilização por parte dos indivíduos; por sua vez, a comodidade e a aceitabilidade são influenciadas pelas expectativas dos utilizadores relativamente à oferta disponível (Palma, da Costa & da Costa, 2017).

Neste contexto, o presente artigo procurará responder à seguinte pergunta de investigação:

Em que medida a metodologia de coinvestigação, aplicada com adultos mais velhos residentes em territórios de baixa densidade, contribui para identificar necessidades não satisfeitas que obstaculizam o envelhecimento no lugar e mantêm um desequilíbrio de poder entre decisores e utilizadores de serviços essenciais locais?

1.1. Coinvestigação como estratégia de capacitação

Desde meados da década de oitenta do século XX, regista-se um interesse crescente pela metodologia de coinvestigação, a qual posiciona o sujeito como *parceiro*

ativo no processo de produção de conhecimento (Osborn, 1985). Fudge et al. (2007) procederam a uma análise sistemática de estudos que integraram pessoas idosas enquanto parceiros de investigação, no período compreendido entre 1995 e 2005, abrangendo domínios temáticos como quedas, tratamento da dor, acidente vascular cerebral e acesso a serviços de saúde digitais (e-health). Também os contributos de Buffel (2015, 2018, 2019) e de James e Buffel (2022) conferiram maior visibilidade e consolidação epistemológica a esta abordagem. No que respeita aos *macrofatores* que mais concorreram para a sua afirmação, Buffel (2019, p. 538) destaca: (i) o incremento de movimentos de “*self-advocacy*” orientados para a investigação em matéria de conceção e acesso a serviços; (ii) a crescente pressão para que os serviços de saúde comunitários adotem práticas mais inclusivas; (iii) a emergência de políticas enquadradas nos paradigmas do “envelhecimento ativo” (no contexto europeu) e do “envelhecimento bem-sucedido” (no contexto norte-americano) (Pruchno, 2015; WHO, 2015); e, por fim, (iv) a ênfase atribuída ao “envolvimento do utilizador” por parte dos organismos de financiamento e das instâncias de decisão política (Buffel, Skyrme & Phillipson, 2017).

A estes *macrofatores*, Buffel (2022) acrescenta *microfatores* de base local que reforçam a validade e a pertinência da coinvestigação: (i) a melhoria da adequação cultural dos instrumentos de recolha de dados; (ii) maior sensibilidade na interpretação dos resultados e na sua tradução em ação concreta; (iii) o potencial para promover o empoderamento de grupos em situação de marginalização; (iv) valorização da perspetiva dos utilizadores enquanto eixo estruturante do processo investigativo. Neste contexto, os participantes/investigadores não académicos afirmam-se como parceiros plenos do processo, na medida em que identificam e problematizam questões com impacto direto nas suas vidas, sinalizam e co-constroem potenciais soluções e, simultaneamente, ampliam os seus repertórios de conhecimento e fortalecem as suas redes sociais de proximidade (Littlechild, Tanner & Hall, 2015).

Não obstante os ganhos reconhecidos por esta abordagem, ainda que pouco aplicada em Portugal num passado recente, importa também referenciar o potencial risco que envolve este processo de coinvestigação. Hogg e Vaughan (2018) definem o *tokenismo* como uma forma de discriminação, dado que torna públicas pequenas ações de aparente valorização de um grupo minoritário que surgem apenas para mitigar imputações de discriminação. De igual modo, Littlechild, Tanner & Hall (2015) alertam para o risco de *tokenismo* associado a este tipo de investigação, situação em que o envolvimento das pessoas idosas se reduz a uma “abordagem simbólica”, destituída de influência real sobre o processo investigativo. Na mesma linha, Chen et al. (2020, p. 268) sublinham como absolutamente essencial assegurar uma distribuição equitativa do poder entre investigadores académicos e investigadores pares, condição indispensável à integridade e legitimidade do processo de coinvestigação:

Ao adotar uma abordagem de investigação por pares, o investigador profissional assume o papel de facilitador ou dinamizador, apoiando os pares na condução do processo investigativo. Na prática, é frequente que divergências nas preferências valorativas, no que respeita à tomada de

decisões, origem situações de conflito entre os parceiros de investigação (tradução dos autores).

A par dos riscos já enunciados, subsistem outras dimensões éticas e metodológicas que merecem igual atenção. O recrutamento de *investigadores pares* ocorre frequentemente mediante a técnica de amostragem em bola de neve, processo que tende a privilegiar indivíduos inseridos em redes sociais de proximidade dos investigadores académicos, ampliando a probabilidade de um recrutamento de natureza endogâmica. Esta dinâmica favorece o acesso de pessoas com perfis sociodemográficos homogêneos, ampliando o risco de exclusão de grupos em situação de maior vulnerabilidade, designadamente minorias étnico-raciais e adultos mais velhos com limitações de natureza física ou cognitiva (James & Buffel, 2022). Assim, no âmbito do processo de coinvestigação, torna-se imperativo assegurar um conjunto de princípios orientadores: (i) as pessoas idosas devem ser reconhecidas como partes interessadas em condições de igualdade relativamente aos demais intervenientes na investigação sobre o envelhecimento e a velhice; (ii) deve ser garantida igualdade de oportunidade de participação nas diferentes etapas do estudo; e (iii) os investigadores pares devem dispor de autonomia para se envolverem nas atividades de investigação que considerem mais relevantes para si (Chen et al., 2020).

O envolvimento de coinvestigadores mais velhos, não obstante as mais-valias já amplamente documentadas, introduz desafios específicos que importa antecipar, desde as fases iniciais do processo. Baldwin et al. (2018) e Gutman et al. (2014) sublinham a necessidade de os investigadores académicos atenderem a um conjunto de condicionantes que podem comprometer a participação sustentada deste grupo: (i) a dificuldade em manter o envolvimento continuado em tarefas de natureza diversa; (ii) um risco acrescido de abandono do estudo (*dropout*); (iii) a presença de limitações físicas ou funcionais; (iv) perceção de insuficiência das próprias competências, traduzida numa tendência para a automenorização; (v) dificuldades de transporte e mobilidade; e, por fim, (vi) necessidade de conciliar a participação com compromissos de ordem familiar, fatores que, no seu conjunto, podem condicionar de forma significativa a capacidade de envolvimento ao longo de investigação.

2. Desenho e Método

Para a concretização do projeto de investigação *County Reporters 55+ (CR55+)*, foi constituída uma parceria entre a Universidade de Coimbra e a Cáritas Coimbra, atuando a última como prestadora de serviços com relevância social junto de populações idosas no território de investigação. Esta parceria tinha como objetivo identificar e mobilizar agentes detentores de capital social capazes de promover localmente uma cidadania ativa, sinalizando potenciais cenários de isolamento e marginalização da pessoa idosa. Neste contexto, foi dada particular atenção ao reforço do pilar da *participação*. Para além das barreiras físicas à participação, que frequentemente estão presentes em territórios de baixa densidade, com maior ênfase no acesso à saúde, decorrentes de inadequação de edifícios, da baixa frequência dos transportes e dos horários disponibilizados (Palma; da Costa & da Costa, 2017), interessava também perceber a existência de potenciais barreiras associadas à forma como se observa o

envelhecimento na idade mais avançada e se tratam as pessoas idosas, bem como a existência de barreiras ao envelhecimento no lugar (WHO, 2015).

A metodologia participativa aplicada neste projeto partiu das estratégias e recomendações produzidas por Buffel et al. (2015), na cidade de Manchester, que foram localmente adaptadas às necessidades de um território de baixa densidade.

2.1. Área de estudo, amostragem e procedimentos de investigação

A escolha do concelho de Arganil para a execução do projeto CR55+ resulta de uma avaliação territorial. O concelho está localizado na Região Centro de Portugal, no interior do distrito de Coimbra, e evidencia uma baixa densidade populacional (Figura 1) e um elevado índice de envelhecimento (317,8, INE, 2023), realidade que se agrava nas três freguesias envolvidas na investigação: Pomares, Pombeiro da Beira e São Martinho da Cortiça (Figura 2; Tabela 1).

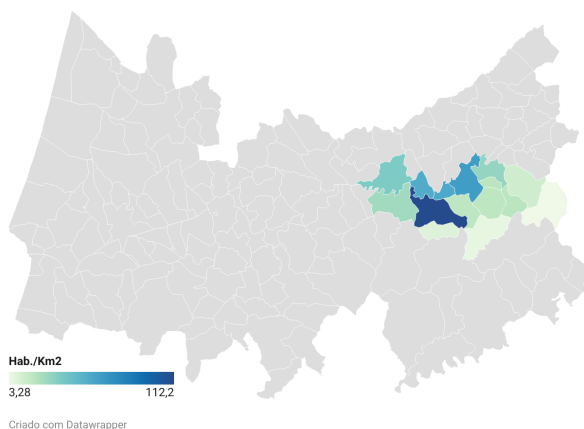


Figura 1. Densidade populacional por freguesia no concelho de Arganil.
Fonte: INE (2021).

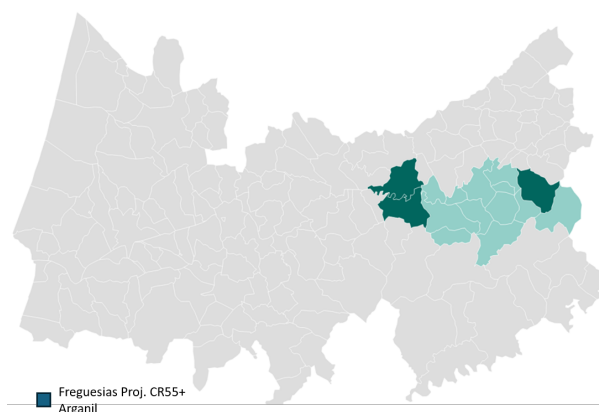


Figura 2. Freguesias associadas ao projeto CR55+.

Tabela 1. Indicadores de envelhecimento

Território	Pop. ≥ 65 anos (%)	Ind. Envelhecimento
Portugal	23,4	192,4
Região Centro	27,0	246,3
Arganil	26,1	316,3
Pomares (Freg.)	43,6	447,6
Pombeiro da Beira (Freg.)	41,1	522,5
São Martinho da Cortiça (Freg.)	31,9	285,0

Fonte: INE (2023).

No que respeita à divulgação do projeto, inicialmente foi produzida uma curta apresentação, com o objetivo de o consórcio de investigação publicitar o projeto localmente, em centros comunitários e junto da rede social, tendo como alvo o recrutamento de participantes (*coresearchers*), com idade compreendida entre os 55 e os 85 anos. A intenção de envolver na amostra sujeitos com idade inferior a 65 anos deriva da necessidade de sensibilizar e qualificar atores, cuja idade é anterior à definição estatístico-administrativa de idoso, mas que, num intervalo de tempo relativamente curto atingirão esta meta. O limite máximo de 85 anos resultou da necessidade de garantir que os *coresearchers* evidenciavam um estado de saúde autoavaliado, que poderia variar entre razoável e muito bom (Tab. 2), disponibilidade de participação, capacidade de mobilidade para participar ativamente nas diversas fases do projeto a dinamizar em diferentes lugares do concelho. A seleção da amostra de *coresearchers*, bem como as fases de desenvolvimento do projeto (Fig. 3), seguiu as recomendações apresentadas por Buffel (2015; 2018), com pequenas adaptações à realidade local, associando um desenho de amostragem intencional, combinando três estratégias para recrutar potenciais coinvestigadores: amostragem de critério, amostragem por critérios, amostragem em bola de neve e variação máxima.

Os *coresearchers* foram recrutados a partir de uma série de redes, desde utilizadores de serviços locais da Cáritas, organizações de voluntariado da igreja local e grupos comunitários de apoio social. Como critério principal, para além do critério etário, era obrigatório residir permanentemente numa das três freguesias identificadas, evidenciar boa capacidade de comunicação e de escuta, assumir o compromisso de participação em ações de formação, investigação e recolha de informação no âmbito do projeto, com duração prevista de 14 meses, compromisso formalizado através do preenchimento de um formulário de consentimento informado e esclarecido assinado por cada um dos coinvestigadores aderentes.

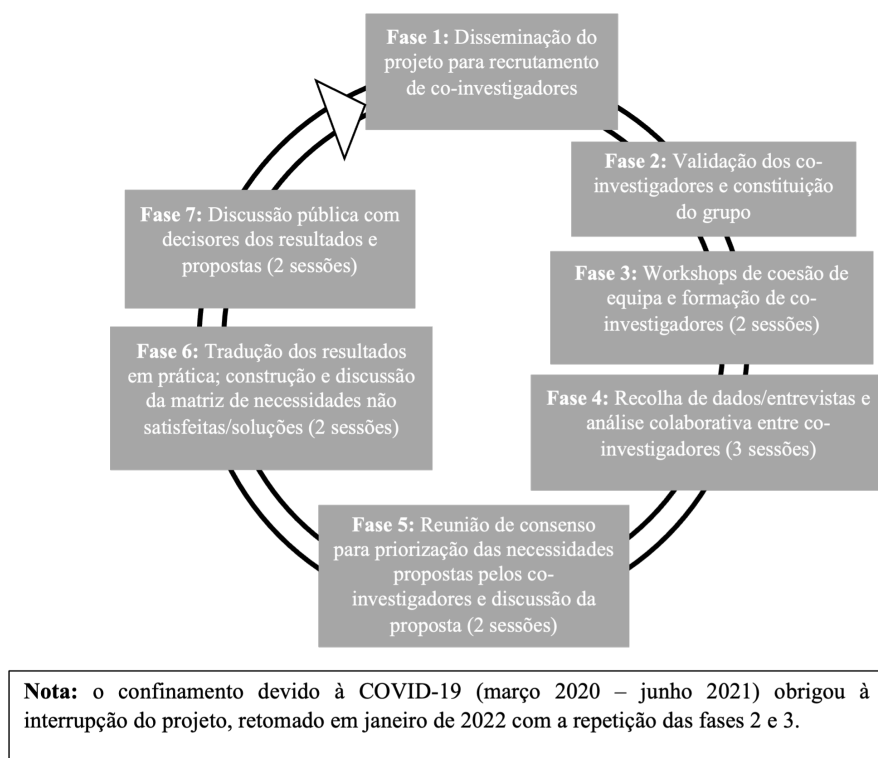


Figura 3. Freguesias associadas ao projeto CR55+.

Após a fase inicial de recrutamento, na qual se alcançou a adesão de 8 participantes, foi perguntado aos *coresearchers* se conheciam outras pessoas que se enquadrassem nos critérios descritos (e.g.: amostragem em bola de neve). Foi também utilizada uma estratégia de amostragem de variação máxima para garantir uma diversidade de coinvestigadores, refletindo a variabilidade social, académica, profissional e de género dos *coreserachers*. O cronograma inicial do projeto previa o seu arranque em fevereiro de 2020, com uma primeira etapa de 4 semanas para divulgação (estadio 1), seguida de uma etapa de validação (estadio 2) e formação dos coinvestigadores no domínio de técnicas de entrevista e escuta ativa (estadio 3).

Devido ao *lockdown* sanitário por causa da pandemia por COVID-19, com início em março de 2020, cuja prorrogação se estendeu em Portugal até ao primeiro semestre de 2021, o arranque do projeto foi recalendarizado para janeiro de 2022, com necessidade de recrutar e validar novos membros, uma vez que, na amostra inicial constituída por 18 elementos, se observou um *dropout* de 5 elementos por degradação da sua mobilidade e condição de saúde ocorrida durante o *lockdown*.

O projeto reiniciou a sua atuação no território em fevereiro de 2022 (estadio 3), com a participação final de 14 coinvestigadores (Tab. 2), com uma idade média de 64,5 anos, com equilíbrio entre sexos (50% masculino; 50% feminino), todos voluntários, tendo o desenho de estudo sido aprovado pela Comissão de Ética da Faculdade de Psicologia e Ciências de Educação da Universidade de Coimbra (Ref.: CEDI/FPCEUC:63/1).

Tabela 2. Dados sociodemográficos dos coinvestigadores

M	65	Casado/União de facto	Secundário	Razoável	Operário (pré-reforma)
M	60	Casado/União de facto	Secundário	Boa	Gestor comercial
M	64	Solteiro	2.º ciclo	Razoável	Pasteleiro
F	66	Casado/União de facto	Secundário	Razoável	Operário qualificado (reformado)
F	64	Casado/União de facto	Secundário	Boa	Reformada
M	71	Casado/União de facto	3.º ciclo	Razoável	Reformado
M	63	Casado/União de facto	1.º ciclo	Razoável	Mecânico
F	60	Casado/União de facto	2.º ciclo	Boa	Desconhecida
F	53	Casado/União de facto	3.º ciclo	Razoável	Doméstica
F	70	Casado/União de facto	4.º ciclo	Razoável	Reformada
F	58	Casado/União de facto	Licenciatura	Razoável	Fotógrafa
F	64	Casado/União de facto	1.º ciclo	Razoável	Doméstica

Todas as sessões correspondentes às Fases 3 a 7 contaram com a presença da totalidade dos coinvestigadores, dos membros da equipa da Universidade de Coimbra (1 geógrafo, 2 médicos e 2 psicólogos), bem como da equipa técnica da Cáritas Coimbra, integrada por 2 técnicos de serviço social, tendo todos desempenhado funções de facilitação. Cada sessão teve uma duração aproximada de quatro horas.

As Fases 4 a 6 foram conduzidas em formato de grupo focal (*focus group*), com recurso a um guião de discussão estruturado, no âmbito do qual foram sinalizados e debatidos problemas e necessidades não satisfeitas, procedendo-se à hierarquização das mesmas mediante votação. Na Fase 6, foram elaboradas propostas de solução para as necessidades previamente identificadas e priorizadas. Relativamente à Fase 7, correspondente à discussão pública com decisores políticos e institucionais, os co-investigadores elegeram, entre si, um porta-voz para cada uma das categorias de problemas identificados, ficando a seu cargo a apresentação e condução da discussão pública.

No decurso da primeira sessão de formação (Fase 3), para além das atividades de desenvolvimento e coesão da equipa (*team building*) envolvendo a totalidade dos coinvestigadores, foi disponibilizado a cada coinvestigador equipamento digital, especificamente um *tablet* com funcionalidades de registo de som e imagem, tendo sido explicado o seu potencial de utilização em contexto de entrevista e de documentação de necessidades, através da produção de registos fotográficos, sonoros ou videográficos.

cos realizados pelos próprios coinvestigadores. Na sessão subsequente, foi ministrada formação em técnicas de entrevista e em procedimentos de confidencialidade, abrangendo especificamente os seguintes domínios: formulação de perguntas, gestão do tempo de resposta do entrevistado, abordagem de temáticas sensíveis, importância do seguimento de pistas emergentes no discurso, e salvaguarda da confidencialidade dos dados recolhidos. Mediante técnicas de *role-play* e *role-taking*, foram igualmente explorados os desafios potenciais a enfrentar em contexto de trabalho de campo, com particular incidência nas objeções e dificuldades antecipadas pelos próprios coinvestigadores. Ambas as sessões contaram com a participação da totalidade dos investigadores e coinvestigadores, tendo a sua dinamização sido assegurada por uma investigadora académica com especialização em psicologia do desenvolvimento na idade adulta.

No que respeita à Fase 5 – Reunião de consenso e priorização de necessidades não satisfeitas, as imagens trazidas por cada coinvestigador foram discutidas e categorizadas em problemas tipo, por consenso, contando com a ajuda dos investigadores académicos para a sua codificação, existindo triangulação entre codificadores, alcançando-se a fiabilidade inter-codificador através do consenso de descritores comuns. No que diz respeito à Fase 6 – Discussão da matriz de necessidades e hierarquização das mesmas, o processo ocorreu mediante votação até à obtenção de consenso maioritário, dispondo cada coinvestigador de um voto.

3. Resultados

Os dados apresentados resultam do trabalho realizado pelos coinvestigadores nos estádios 4 a 6 do projeto. A totalidade dos documentos produzidos e analisados permitiu a construção, por consenso, de 4 categorias de problemas/necessidades não satisfeitas: (i) Saúde: acesso e cuidados; (ii) Gestão e ordenamento da floresta: riscos percebidos; (iii) Habitar o lugar: topofilia; (iv) Capacitação comunitária: inclusão e participação.

Os coinvestigadores elegeram e categorizaram, com igual nível de prioridade, as duas primeiras categorias de problemas: i) Saúde: acesso e cuidados; (ii) Gestão e ordenamento da floresta: riscos percebidos. É sobre esta simultaneidade de prioridades que a discussão de resultados vai incidir, uma vez que, de uma forma clara, os dois principais domínios eleitos foram classificados como ameaça severa ao envelhecimento no lugar, com particular potencial para comprometer a segurança física e mental dos residentes.

Importa desde já sublinhar que esta hierarquização de prioridades é coerente com os dados da literatura. Conforme documentado por Tavares et al. (2019), as assimetrias territoriais no acesso a cuidados de saúde penalizam precisamente as regiões com maior índice de envelhecimento, como é o caso de Arganil. Por seu turno, Tedim et al. (2012) demonstram empiricamente a correlação entre a extensão florestal sem gestão e o risco de incêndio, sendo que Fidalgo (2012) estima que territórios com as características de Arganil – dispersão de povoamento, monoculturas de pinheiro e eucalipto e baixa densidade demográfica – apresentam uma exposição ao risco consideravelmente superior à que os indicadores formais sugerem.

3.1. Saúde: acesso e cuidados

No domínio *Saúde: acesso e cuidados*, os coinvestigadores caracterizaram o cenário local de fraquezas e necessidades não satisfeitas e construíram oportunidades e soluções (Tab. 3). Entre as principais fraquezas identificadas destacam-se: o elevado número de residentes reformados com baixos rendimentos; a rede de transporte público não equitativa; a dificuldade em atrair recursos humanos qualificados no setor da saúde; a baixa literacia em saúde; a elevada prevalência de doenças crónicas; e o isolamento social de alguns idosos.

Entre as necessidades não satisfeitas registam-se: dificuldade de acesso aos cuidados de saúde primários (marcação de consultas, cuidados de saúde e serviços farmacêuticos) com elevados tempos de espera; elevados tempos de deslocação aos serviços de emergência (50-60 minutos); inexistência ou debilidade dos serviços de apoio domiciliário em saúde; impossibilidade de estabelecer comunicações móveis em algumas zonas; e baixo nível de recursos de apoio em saúde mental.

Estes resultados estão em linha com as conclusões de Marques da Costa et al. (2020), que demonstram que os fatores condicionantes da acessibilidade aos cuidados de saúde primários se acentuam na população idosa em virtude do menor rendimento e menor mobilidade. A condição de isolamento residencial, com elevada percentagem de idosos a viverem sozinhos ou apenas com o cônjuge, amplifica esta vulnerabilidade, na medida em que a ausência de suporte familiar limita a capacidade de mobilização para deslocações a serviços de saúde. O modelo dos “cinco A do acesso” de Penchansky & Thomas (1981), conforme já mencionado, permite compreender como as dimensões de acessibilidade física e de custo são as mais penalizantes para a população idosa residente em territórios de baixa densidade com rede de transporte público deficiente.

O conjunto de propostas apresentadas pelos coinvestigadores para mitigar localmente o problema envolve: extensão a todas as freguesias de um sistema de transporte flexível adaptado às necessidades dos idosos, desenvolvimento de serviço de saúde itinerante com apoio domiciliário e diferenciação dos horários dos serviços públicos.

Tabela 3. Quadro conceptual construído pelos coinvestigadores para o domínio: *Saúde, acesso e cuidados*

Contexto socioterritorial	Fraquezas
Reduzido número de habitantes e povoamento disperso; Elevada percentagem de residentes idosos, com 65 ou mais anos; Desinvestimento progressivo nos serviços públicos, particularmente nos serviços de saúde.	Elevado número de reformados com baixos rendimentos; Oferta não equitativa de transportes públicos; Dificuldade em atrair recursos humanos qualificados no setor da saúde; Baixa literacia em saúde; Elevada prevalência de doenças crónicas e complicações de saúde; Exposição a incêndios florestais com risco para a vida; Isolamento social de alguns idosos; Possível existência de stress pós-traumático numa grande parte da população devido à exposição a incêndios florestais.
Necessidades não satisfeitas	Oportunidades e propostas
Dificuldade no acesso aos cuidados de saúde primários, incluindo marcação de consultas, cuidados de saúde e serviços farmacêuticos, com elevados tempos de espera; Algumas freguesias apresentam elevados tempos de deslocação para aceder aos serviços de urgência, entre 50 e 60 minutos; Serviços de saúde domiciliários inexistentes ou muito reduzidos; Impossibilidade de estabelecer comunicações móveis em algumas zonas do território; Baixo nível de recursos para apoio em saúde mental.	Alargar a todas as freguesias um sistema de transporte flexível adaptado às necessidades dos idosos; Desenvolver um serviço de saúde itinerante com apoio domiciliário baseado em boas práticas de vizinhança; Implementar discriminação positiva para atração local ou regional de recursos humanos na área da saúde; Criar horários diferenciados de serviços públicos adaptados às necessidades dos residentes; Ouvir os representantes da população idosa na conceção dos serviços.

Este leque de soluções construídas é convergente com as recomendações de Poulin, Skinner & Hanlon (2020), que sublinham a importância de desenhar serviços localmente adaptados às necessidades desta população, eliminando as barreiras geográficas através de serviços móveis de saúde, serviços de tele saúde e programas de assistência ao transporte. Freitas & da Costa (2021) corroboram esta perspectiva, demonstrando que em territórios de baixa densidade com elevada dispersão de povoamento a acessibilidade aos cuidados de saúde primários só é genericamente

adequada quando existe possibilidade de utilização de automóvel próprio, fator que amplia as desigualdades de acesso em função do rendimento e da condição funcional.

3.2. Gestão e Ordenamento da Floresta

No domínio *Gestão e ordenamento da floresta*, os coinvestigadores identificaram as seguintes fraquezas: fraco investimento na gestão da propriedade florestal; deficiente limpeza de terrenos florestais; aumento sazonal da população, incrementando o risco de incêndio; elevado número de incêndios com danos na economia, no ambiente e na saúde humana; e meios insuficientes de prevenção de incêndios.

Tabela 4. Quadro conceptual construído pelos coinvestigadores para o domínio: *gestão e ordenamento da floresta*

Contexto socioterritorial	Fraquezas
A economia do concelho é altamente dependente da exploração florestal, madeira e derivados; Elevada percentagem do uso do solo afeto à agricultura e à exploração florestal; Área florestal maioritariamente propriedade de particulares e empresas; Orografia montanhosa; População dispersa com elevado número de lugares com menos de 20 habitantes.	Fraco investimento na gestão da propriedade florestal, pública e privada; Deficiente limpeza dos terrenos florestais, facilitando a propagação de incêndios; Aumento sazonal da população no verão, aumentando o risco de incêndios florestais; Elevado número de incêndios causadores de danos na economia, no ambiente e na saúde humana; Meios insuficientes para a prevenção de incêndios.
Necessidades não satisfeitas	Oportunidades e propostas
Fraca aplicação dos instrumentos legais na gestão e ordenamento florestal; Baixo investimento na manutenção de estradas e aceiros; Fraca aplicação de medidas de mitigação de incêndios adaptadas à realidade local; Rede de comunicações móveis deficiente; Estratégias de mitigação de incêndios florestais subfinanciadas.	Expansão da rede de voluntários para a defesa da floresta, através da adoção de boas práticas de vizinhança; Gestão local de recursos técnicos e financeiros para a gestão florestal; Adaptação das estratégias de mitigação de incêndios às alterações climáticas; Formação eficaz de equipas de vigilância florestal, incluindo voluntários idosos.

Entre as necessidades não satisfeitas, os coinvestigadores identificaram: fraca aplicação dos instrumentos legais de gestão e planeamento florestal; baixo investimento na manutenção de estradas e aceiros; debilidade das medidas de mitigação de incêndios adaptadas à realidade local; deficiente rede de comunicação móvel; e estratégias de mitigação de incêndios florestais subfinanciadas.

Estes resultados são consistentes com a análise de Tedim et al. (2012), que verificaram uma correlação positiva entre a área florestal sem gestão e a extensão dos incêndios, bem como uma correlação negativa entre a presença efetiva de residentes e o número e densidade de incêndios. O abandono das práticas agrícolas e silvo-pastoris, diretamente associado ao êxodo rural e ao envelhecimento da população

e à alteração da estrutura económica local, potencia a expansão descontrolada do mato sobre antigas áreas cultivadas, eliminando as discontinuidades que funcionavam como barreiras naturais à propagação do fogo (Fidalgo, 2012).

A associação entre a ocorrência de incêndios florestais e danos graves em saúde, sobretudo ao nível da saúde mental, foi documentada por Bryant et al. (2014) a propósito dos incêndios *Black Saturday* na Austrália. Em Portugal, Pereira et al. (2021) rastrearam, após os incêndios de 2017, os mesmos referenciados e enfatizados por todos os coinvestigadores, 1828 jovens expostos a eventos traumáticos associados a incêndios, verificando que 4,6% evidenciavam perturbação de stress pós-traumático (PTSP). Heid et al. (2017) demonstram que adultos mais velhos expostos a desastres naturais particularmente violentos são igualmente suscetíveis de evidenciar sinais compatíveis com PTSP, variando a severidade na relação inversa dos níveis de coesão social existentes na comunidade. Neste contexto, ainda que sem recurso a qualquer instrumento diagnóstico, registámos a declaração de um coinvestigador que ilustra um cenário de possível perturbação de ansiedade que perdura no tempo:

Assim que chega o tempo quente é um desassossego. Não consigo dormir tranquilo... acordo várias vezes por noite e, junto da janela, procuro qualquer sinal de fogo ou de fumo. Ficámos como uma angústia indescritível até hoje! Ainda somos capazes de sentir o cheiro do fumo e os gritos de terror que ouvimos naquele dia.

Coinvestigador 009M

3.3. Habitar o lugar: topofilia

Na categoria *Habitar o lugar: topofilia*, os coinvestigadores refletiram sobre o nível de filiação que mantêm com o lugar onde residem e identificaram constrangimentos que têm tornado essa permanência progressivamente mais difícil. Entre as fraquezas identificam-se: isolamento noturno de pessoas que vivem sozinhas; má cobertura das redes de comunicação móvel; fraco apoio domiciliário para residentes com mobilidade reduzida; e forte perceção de insegurança sazonal, devida ao elevado risco de incêndios florestais.

O enfraquecimento das redes de solidariedade e de vizinhança torna as comunidades menos resilientes amplifica o risco de exclusão e compromete o direito de pertencer ao lugar. Buffel & Phillipson (2019, p. 989), citando May (2018), destacam que o sentido de pertença implica ser aceite por outros como parte integrante de uma comunidade ou sociedade, o que só é possível se o mundo permitir que essa conexão aconteça.

Tabela 5. Quadro conceptual construído pelos coinvestigadores para o domínio: *gestão e ordenamento da floresta*

Contexto socioterritorial	Fraquezas
A economia do concelho é altamente dependente da exploração florestal, madeira e derivados; Elevada percentagem do uso do solo afeto à agricultura e à exploração florestal; Área florestal maioritariamente propriedade de particulares e empresas; Orografia montanhosa; População dispersa com elevado número de lugares com menos de 20 habitantes.	Fraco investimento na gestão da propriedade florestal, pública e privada; Deficiente limpeza dos terrenos florestais, facilitando a propagação de incêndios; Aumento sazonal da população no verão, aumentando o risco de incêndios florestais; Elevado número de incêndios causadores de danos na economia, no ambiente e na saúde humana; Meios insuficientes para a prevenção de incêndios.
Necessidades não satisfeitas	Oportunidades e propostas
Fraca aplicação dos instrumentos legais na gestão e ordenamento florestal; Baixo investimento na manutenção de estradas e aceiros; Fraca aplicação de medidas de mitigação de incêndios adaptadas à realidade local; Rede de comunicações móveis deficiente; Estratégias de mitigação de incêndios florestais subfinanciadas.	Expansão da rede de voluntários para a defesa da floresta, através da adoção de boas práticas de vizinhança; Gestão local de recursos técnicos e financeiros para a gestão florestal; Adaptação das estratégias de mitigação de incêndios às alterações climáticas; Formação eficaz de equipas de vigilância florestal, incluindo voluntários idosos.

3.4. Capacitação comunitária: inclusão e participação

Colocado no terceiro nível de prioridade, muito associado à crise sanitária por COVID-19, os coinvestigadores identificaram no domínio *Capacitação comunitária: inclusão e participação*, que, após quase 18 meses de confinamento compulsivo, os níveis de empoderamento individual e comunitário, participação social e disponibilidade para atividades comunitárias ficaram fortemente comprometidos. O associativismo, as práticas religiosas e as celebrações da cultura local evidenciam baixos níveis de participação, dificultando a recuperação da dinâmica anterior à pandemia.

Tabela 6. Quadro conceptual construído pelos coinvestigadores para o domínio: *Capacitação comunitária, inclusão e participação*

Contexto socioterritorial	Fraquezas
Movimento de retorno populacional associado à reforma; Níveis satisfatórios de coesão social, associados à existência de grupos de voluntariado comunitário secular e religioso; Existência de comissões de melhoramentos locais, CML, que promovem eventos culturais, religiosos e desportivos.	Longos períodos de confinamento devido à Covid-19; Declínio da cultura associativa devido ao envelhecimento e ao despovoamento; Perda demográfica; Diminuição dos cultos religiosos em parte do território.
Necessidades não satisfeitas	Oportunidades e propostas
Ausência de políticas públicas orientadas para a atração de jovens; Encerramento de serviços públicos que desqualificam o território; Percurso não sinalizados, dificultando o pedestrianismo e atividades ao ar livre; Dificuldade em reorganizar os serviços públicos devido à pandemia de Covid-19; Práticas rigorosas de apoio ao realojamento após catástrofes que impedem a reconstrução em locais mais seguros.	Desenvolvimento de estratégias de marketing territorial com o apoio de especialistas; Possibilitar a participação da população idosa nas questões relacionadas com o realojamento e a reabilitação habitacional; Replicação de grupos de voluntariado comunitário, como clubes de leitura e recolha de memórias e tradições; Dinamização de percursos pedestres e divulgação do potencial turístico; Apoio a uma rede de transportes públicos flexível e acessível, alargada à vertente cultural; Aumento das práticas de intercâmbio cultural entre municípios.

4. Discussão

4.1. Acesso a cuidados de saúde como fator crítico para envelhecer no lugar

As necessidades e fraquezas identificadas no domínio *Saúde: acesso e cuidado* têm elevado nível de impacto no que respeita à prevenção em saúde e gestão da doença crónica, condicionando a expectativa de envelhecer no lugar. Bamba, Smith & Pearce (2019, p. 36) reconhecem que a saúde ao nível do lugar é determinada pela natureza do próprio lugar em termos do ambiente económico, social e físico, existindo efeitos diretos (poluição, tráfego) e indiretos (acesso a serviços, qualidade da vizinhança). Ferreira & Marques da Costa (2021) observaram que a população idosa com baixa instrução e residente em zonas de baixa densidade populacional

apresenta menores índices de acessibilidade a cuidados de saúde, numa situação duplamente desvantajosa. Tavares et al. (2019) demonstram de igual modo que as assimetrias territoriais no acesso a cuidados de saúde primários, embora ténues a nível nacional, penalizam precisamente as regiões com maior índice de envelhecimento, como é o caso do interior da Região Centro, onde se localiza Arganil.

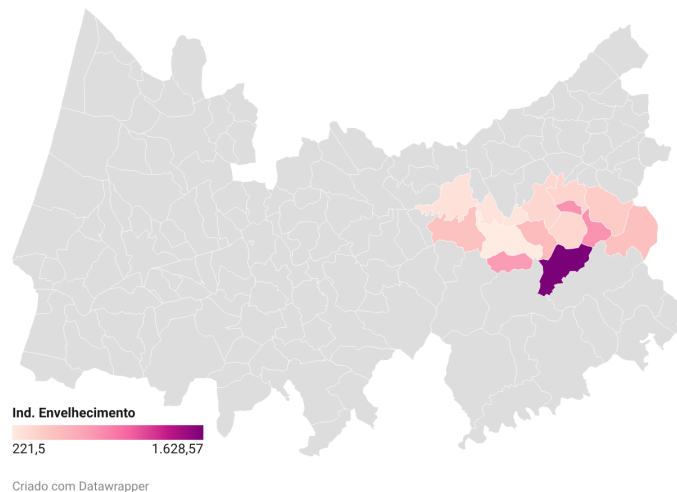


Figura 4. Índice de Envelhecimento por freguesias no concelho de Arganil.
Fonte: INE (2021).

No caso das três freguesias do concelho de Arganil, a gravidade da situação é acrescida porque alguns serviços de saúde, apesar de terem infraestruturas físicas adequadas, foram encerrados ou apenas funcionam de modo parcial alguns dias por mês, por escassez de técnicos qualificados que não são atraídos para o território, ou não são substituídos em caso de reforma, contribuindo para a desqualificação territorial e para o potencial de despovoamento. Tal como sugere Slater (2013), é necessário pensar o lugar também em termos de oportunidades de vida, compreendendo porque é que os indivíduos vivem onde vivem e porque é que esse lugar tem as características que tem.

A avaliação feita pelos coinvestigadores é consistente com a literatura: a crescente dificuldade de acesso aos cuidados de saúde primários resulta da conjugação de desinvestimento público continuado, rede de transportes inadequada, aumento das necessidades em saúde associadas ao envelhecimento e à ocorrência de eventos traumáticos (incêndios florestais), e diminuição progressiva do poder económico da população reformada. Esta multi-causalidade exige respostas igualmente integradas e não soluções sectoriais avulsas.

4.2. Gestão e ordenamento da floresta como fator crítico para envelhecer no lugar

A associação, enfatizada pelos coinvestigadores, entre as condições de saúde e o domínio da *Gestão e ordenamento da floresta*, é teoricamente fundamentada. Como

argumenta Fidalgo (2012), o abandono das práticas agrícolas e silvo-pastoris, diretamente associado ao êxodo rural e ao envelhecimento, cria novas áreas de interface urbano-florestal onde anteriormente existiam campos agrícolas, eliminando as descontinuidades naturais de contenção do fogo. O autor estima que cerca de 20% do território de concelhos com características semelhantes às de Arganil pode ser classificado como área de interface urbano-florestal, o que representa uma exposição ao risco consideravelmente superior à que os indicadores formais de “tecido urbano” sugerem.

Tedim et al. (2012) fornecem evidência quantitativa desta dinâmica: a correlação negativa entre o índice de envelhecimento e a densidade de incêndios florestais, combinada com a correlação positiva entre envelhecimento e área ardida, sugere que populações mais envelhecidas, com menor capacidade de gestão dos combustíveis florestais, estão associadas a incêndios de maior dimensão. Esta distinção entre frequência e extensão dos incêndios é relevante para a compreensão do risco real a que a população idosa está exposta.

A melhoria na prestação de cuidados de saúde primários a nível local é, como sublinharam os coinvestigadores, interdependente da implementação de políticas territoriais de discriminação positiva. A implementação eficaz destas políticas alavancaria condições promotoras de uma melhor qualidade de vida, incluindo atração de investimento, fixação de emprego e recursos humanos qualificados, reorganização de serviços públicos essenciais, e adequada gestão e ordenamento da floresta. Da Costa, Fumega & Louro (2013, p. 279) perspetivam esta integração:

A qualidade de vida é o objetivo central das comunidades sustentáveis, que devem procurar uma melhor qualidade de vida para todos os seus residentes, mantendo a capacidade de funcionamento da natureza ao longo do tempo, minimizando os resíduos, prevenindo a poluição, promovendo a eficiência e desenvolvendo os recursos locais para revitalizar a economia local

Fidalgo (2012) propõe que a mitigação do risco de incêndio exige uma abordagem integrada que articule medidas estruturais, como a criação de faixas de proteção em torno das habitações, a silvicultura preventiva e o ordenamento florestal com redução das monoculturas de espécies de elevada combustibilidade, articuladas com medidas não estruturais centradas na sensibilização e na capacitação das comunidades locais. Este argumento reforça a ideia de que o ordenamento da floresta não é apenas uma questão técnica, mas também uma condição social para a permanência segura dos idosos nos seus territórios.

4.3. A Interdependência de dois fatores críticos para envelhecer no lugar

Em conjunto, os dois fatores críticos hierarquizados como prioritários pelos co-investigadores – acesso a cuidados de saúde e ordenamento da floresta –, não são independentes entre si, mas são facetas complementares de uma mesma fragilidade estrutural presente em territórios de baixa densidade: a incapacidade crescente de

reter população ativa apta para gerir o território e de aceder a serviços essenciais. O envelhecimento em contexto de isolamento geográfico configura uma condição de vulnerabilidade composta, em que a ausência de qualquer um destes fatores é suficiente para comprometer a viabilidade do *aging in place* como opção real e digna.

Do ponto de vista normativo, do Carmo (2016) sublinha que a Constituição da República Portuguesa impõe ao Estado a incumbência de promover coesão económica e social de todo o território nacional (artigo 81.º, alínea d) e de assegurar um correto ordenamento do território (artigo 9.º, alínea e), articulando esta coesão com a promoção do bem-estar, a efetivação dos direitos sociais e a promoção de ordenamento agrário e desenvolvimento florestal de acordo com condicionalismos ecológicos e sociais (artigo 93.º). A persistência destes dois fatores críticos como obstáculos ao *aging in place* em territórios de baixa densidade reflete, em larga medida, o défice de concretização prática de um quadro constitucional que, em teoria, os obrigaria a ser resolvidos.

Paralelamente, Araújo (2014) sublinha que o grande objetivo do planeamento e do ordenamento do território, independentemente da escala de intervenção, é contribuir para a coesão territorial numa perspetiva multiescalar. O eixo da *conexão territorial*, que implica a capacidade de correção das desigualdades de acesso a serviços essenciais, e o eixo da *cooperação*, que convoca a gestão partilhada de riscos que transcendem fronteiras administrativas, como os incêndios florestais, são as dimensões da coesão territorial diretamente implicadas nos dois fatores críticos identificados. A falta de democratização do debate e a prevalência de lógicas sectoriais continuam a condicionar a incorporação efetiva destes princípios nas políticas de ordenamento do território a nível local e regional, agravando o contexto de envelhecimento e despovoamento territorial.

No que respeita ao desenvolvimento da *Fase 7 – Discussão pública com decisores*, demonstrou-se que também nestes territórios é possível corrigir ou atenuar desequilíbrios de poder (James & Buffel, 2022), ampliando a voz dos residentes e qualificando-os como protagonistas da mudança. A entrega formal de um documento de reflexão, junto de gestores municipais e do poder desconcentrado do Estado, contendo áreas prioritárias de ação local e um conjunto de propostas discutidas, constituiu o marco mais significativo do projeto, contribuindo para um desejado (re)equilíbrio de poder entre atores, ampliando as possibilidades de uma melhor qualidade de vida da pessoa idosa no lugar.

5. Conclusão

O projeto *County Reporters 55+ (CR55+)* demonstrou, de forma consistente, que a metodologia de coinvestigação constitui uma abordagem metodológica válida, eticamente fundamentada e empiricamente produtiva para envolver ativamente populações idosas residentes em territórios de baixa densidade na identificação de necessidades não satisfeitas e na construção participada de propostas de intervenção local. Ao longo do processo, os coinvestigadores não se limitaram a avocar o papel de informantes passivos, antes assumiram, progressivamente, o estatuto de agentes ativos de produção de conhecimento, ampliando as suas competências no domínio

da *self-advocacy*, questionando, de forma direta ou indireta, os processos de decisão e o modo como os serviços locais se organizam para dar resposta às necessidades das populações que servem.

Os dois domínios hierarquizados como prioritários pelos coinvestigadores – o acesso a cuidados de saúde e o ordenamento da floresta –, não constituem achados isolados ou idiossincráticos deste projeto. Pelo contrário, são consistentes com a literatura nacional e internacional sobre as condições estruturais do envelhecimento no lugar (*aging in place*) em territórios de baixa densidade (Tavares et al., 2019; Tedim et al., 2012; Fidalgo, 2012; Marques da Costa et al., 2020; Poulin, Skinner & Hanlon, 2020), e encontram fundamento normativo explícito no quadro constitucional português (do Carmo, 2016) e nos princípios europeus de coesão territorial (Araújo, 2014). Esta convergência entre os resultados empiricamente obtidos e o corpus teórico e normativo de referência confere robustez metodológica às conclusões do estudo e reforça a pertinência política das propostas construídas pelos próprios coinvestigadores, evidenciando que o conhecimento produzido a partir da experiência vivida possui uma validade que complementa e enriquece o conhecimento académico convencional.

O processo revelou, adicionalmente, um conjunto de condições facilitadoras, cuja consideração se afigura indispensável para a replicabilidade deste tipo de projeto. A presença de um parceiro local com capital social consolidado e reconhecimento comunitário, no caso presente, a Cáritas Coimbra, revelou-se determinante para o estabelecimento de relações de confiança com os coinvestigadores e para a mobilização da rede social local. A neutralidade da equipa académica face à hierarquização das necessidades identificadas, bem como o respeito pelos códigos sociais e pelos ritmos de vida das comunidades envolvidas, constituíram igualmente condições *sine qua non* para a legitimidade e a sustentabilidade do processo.

Do ponto de vista da transferibilidade, o modelo implementado demonstra que a coinvestigação com populações idosas em territórios de baixa densidade populacional é exequível com recursos financeiros modestos, desde que as autarquias e os agentes locais estejam disponíveis para abandonar os modelos tradicionais de participação, assentes na mera consulta pública administrativa de natureza formal, e para investir em processos de mediação e escuta ativa genuinamente inclusivos e não judicativos. A institucionalização deste tipo de abordagem participativa poderia constituir um contributo relevante para a territorialização das políticas de envelhecimento ativo em Portugal, promovendo simultaneamente a coesão social, o empoderamento das comunidades e a qualidade de vida das populações idosas que escolhem envelhecer no lugar.

Limitações do estudo

A presente investigação apresenta algumas limitações que importa reconhecer. A dimensão da amostra de coinvestigadores, composta por 14 participantes, ficou condicionada pelas características estruturais do território, nomeadamente a baixa densidade populacional e o elevado envelhecimento demográfico, bem como pelos constrangimentos operacionais impostos pelo contexto pós-COVID-19, que limita-

ram o recrutamento e a participação presencial. Embora a abordagem de coinvestigação e a utilização de grupos focais constituam metodologias reconhecidas pela sua capacidade de aprofundamento qualitativo, a baixa dimensão amostral não permite assegurar a saturação temática dos dados recolhidos, nem a representatividade estatística ou a transferibilidade direta dos resultados para outros contextos territoriais com características semelhantes. Estas limitações devem ser consideradas na interpretação dos resultados, sem que, contudo, comprometam a validade do processo participativo desenvolvido nem o valor heurístico das perspetivas e propostas emergentes.

Agradecimentos

Os investigadores académicos gostariam de agradecer a todos os coinvestigadores pela sua participação neste projeto. Gostariam também de agradecer aos membros da equipa da Cáritas Coimbra, bem como aos presidentes das juntas de freguesia, por disponibilizarem as instalações onde decorreram as diferentes fases do projeto CR55+.

Financiamento

Os autores declaram ter recebido o seguinte apoio financeiro para a investigação, autoria e/ou publicação deste artigo: Este trabalho foi financiado pela bolsa de investigação BPI-Rural: RP19-00058 [BPI-D-85437185]; *CHAgeing – Connected Hubs in Ageing: Healthy Living to Protect Cerebrovascular Function*, financiado pelo programa Horizonte Europa da União Europeia (Excellence Hubs HORIZON-WIDERA-2022-ACCESS-04-01) ao abrigo do acordo de subvenção n.º 101087071, e por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto [UIDB/04084/2025].

Declaração Ética

O estudo foi conduzido em conformidade com a Declaração de Helsínquia e aprovado pela Comissão de Ética da Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da Universidade de Coimbra, Portugal (Ref.: CEDI/FPCEUC:63/1).

Bibliografia

- Araújo, J. D. S. (2014). *O conceito de coesão territorial e a sua relevância para o planeamento e ordenamento do território: Os casos da Estónia e Portugal* [Dissertação de Mestrado]. Universidade Nova de Lisboa [Repositório da FCSH].
- Baldwin, J. N., Napier, S., Neville, S., & Wright-St Clair, V. A. (2018). Impacts of older people's patient and public involvement in health and social care research: A systematic review. *Age and Ageing*, 47(6), 801–809. <https://doi.org/10.1093/ageing/afy092>
- Bambra, C., Smith, K. E., & Pearce, J. (2019). Scaling up: The politics of health and place. *Social Science & Medicine*, 232, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2019.04.036>

- Blair, T., & Minkler, M. (2009). Participatory action research with older adults: Key principles in practice. *The Gerontologist*, 49(5), 651–662. <https://doi.org/10.1093/geront/gnp049>
- Bryant, R. A., Waters, E., Gibbs, L., Gallagher, H. C., Pattison, P., Lusher, D., MacDougall, C., Harms, L., Block, K., Snowdon, E., Sinnott, V., Ireton, G., Richardson, J., & Forbes, D. (2014). Psychological outcomes following the Victorian Black Saturday bushfires. *Australian & New Zealand Journal of Psychiatry*, 48(7), 634–643. <https://doi.org/10.1177/0004867414534476>
- Buffel, T. (2019). Older coresearchers exploring age-friendly communities: An “insider” perspective on the benefits and challenges of peer-research. *The Gerontologist*, 59(3), 538–548. <https://doi.org/10.1093/geront/gnx196>
- Buffel, T. (2015). *Researching age-friendly communities: Stories from older people as co-investigators*. The University of Manchester Library.
- Buffel, T. (2018). Social research and co-production with older people: Developing age-friendly communities. *Journal of Aging Studies*, 44, 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.jaging.2018.01.012>
- Buffel, T., Skyrme, J., & Phillipson, C. (2017). Connecting research with social responsibility: Developing “age-friendly” communities in Manchester, UK. Em D. Shek & R. Hollister (Ed.), *University social responsibility and quality of life* (pp. 235–252). Springer.
- Chen, K., Cheung, J. C. T., Wang, J. J., & Lou, V. W. Q. (2020). Older people as peer researchers in ageing research: Nuisance or necessity? Em T. Buffel, S. Handler & C. Phillipson (Ed.), *Researching ageing* (pp. 265–273). Routledge.
- Costa, E. M. d., Costa, N. M. d., Louro, A., & Barata, M. (2020). “Geographies” of primary healthcare access for older adults in the Lisbon Metropolitan Area, Portugal. *Saúde e Sociedade*, 29(2), e200108. <https://doi.org/10.1590/S0104-12902020200108>
- Costa-Font, J., & Vilaplana-Prieto, C. (2022). Housing satisfaction, housing conditions, and ageing in place. *Housing Studies*, 37(8), 1435–1451. <https://doi.org/10.1080/02673037.2020.1867833>
- Da Costa, E. M., Fumega, J., & Louro, A. (2013). Defining sustainable communities: Development of a toolkit for policy orientation. *Journal of Urban Regeneration and Renewal*, 6(3), 278–292.
- Direção-Geral da Saúde & Ministério da Saúde. (2017). *Estratégia nacional para o envelhecimento ativo e saudável: 2017–2025 (ENEAS)*. DGS.
- Do Carmo, F. (2016). Princípios constitucionais do ordenamento do território. *Sociologia, Problemas e Práticas*, (número especial), 99–121. <https://doi.org/10.7458/SPP2016NE10352>
- Eurostat. (2025). Healthy life years statistics. *European Commission*. <https://ec.europa.eu/eurostat>
- Eurostat. (2023). Population structure and ageing. *European Commission*. <https://ec.europa.eu/eurostat>
- Fernandes, J. L. J. (2008). Implantação de projectos de desenvolvimento, desterritorialização e vulnerabilidade das populações: O caso da construção de barragens [CD-ROM. ISBN 978-84-691-1018-8]. *Cuarto Encuentro Internacional sobre Pobreza, Convergencia y Desarrollo*.
- Ferreira, R., Marques da Costa, N., & Marques da Costa, E. (2021). Accessibility to urgent and emergency care services in low-density territories: The case of Baixo Alentejo, Portugal. *Ciência & Saúde Coletiva*, 26(Supl. 1), 2483–2496. <https://doi.org/10.1590/1413-81232021266.1.07242019>

- Fidalgo, E. S. (2012). Territórios em mudança e os incêndios na interface urbano-florestal: Estudo de caso em Baião. *Cadernos de Geografia*, 30/31, 87–98.
- Flemig, S., & Osborne, S. (2019). The dynamics of co-production in the context of social care personalisation. *Journal of Social Policy*, 48(4), 671–697. <https://doi.org/10.1017/S0047279418000582>
- Fonseca, A. M. (2018). *Boas práticas de ageing in place: Guia de boas práticas em Portugal*. Universidade Católica Portuguesa & Fundação Calouste Gulbenkian.
- Fonseca, A. M. (2020). *Envelhecer em Portugal*. Pactor.
- Freitas, C., & da Costa, N. M. (2021). Accessibility to primary health care in low-density regions: A case study — NUTS III Baixo Alentejo, Portugal. *Ciência e Saúde Coletiva*, 26, 2497–2506. <https://doi.org/10.1590/1413-81232021266.1.16032019>
- Fudge, N., Wolfe, C. D. A., & McKevitt, C. (2007). Involving older people in health research. *Age and Ageing*, 36(5), 492–500. <https://doi.org/10.1093/ageing/afm029>
- Gondim, G. M. M., Monken, M., Iñiguez Rojas, L., Barcellos, C., Peiter, P., Navarro, M., & Gracie, R. (n.d.). O território da saúde: A organização do sistema de saúde e a territorialização. *Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio/Fundação Oswaldo Cruz*.
- Gutman, C., Hantman, S., Ben-Oz, M., Criden, W., Anghel, R., & Ramon, S. (2014). Involving older adults as coresearchers in social work education. *Educational Gerontology*, 40(3), 186–197. <https://doi.org/10.1080/03601277.2013.802185>
- Haesbaert, R. (2004). *O mito da desterritorialização: Do “fim dos territórios” à multiterritorialidade*. Bertrand Brasil.
- Hayes, K., Blashki, G., Wiseman, J., Burke, S., & Reifels, L. (2018). Climate change and mental health: Risks, impacts and priority actions. *International Journal of Mental Health Systems*, 12(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s13033-018-0210-6>
- Heid, A. R., Pruchno, R., Cartwright, F. P., & Wilson-Genderson, M. (2017). Exposure to Hurricane Sandy, neighborhood collective efficacy, and post-traumatic stress symptoms in older adults. *Ageing & Mental Health*, 21(7), 742–750. <https://doi.org/10.1080/13607863.2016.1154016>
- Hogg, M. A., & Vaughan, G. M. (2018). *Social psychology* (8ª ed.). Pearson Education.
- Iecovich, E. (2014). Aging in place: From theory to practice. *Anthropological Notebooks*, 20(1), 21–33.
- Instituto Nacional de Estatística. (2025a). *Estimativas provisórias de população residente — Portugal, 2024*. INE. <https://www.ine.pt>
- Instituto Nacional de Estatística. (2022). *Indicadores sociais 2021*. INE.
- Instituto Nacional de Estatística. (2025b). *Projeções de população residente em Portugal — 2025–2100*. INE. <https://www.ine.pt>
- Instituto Nacional de Estatística. (2026, maio). *Tábuas de mortalidade para Portugal 2023–2025* (Destaque — Informação à Comunicação Social) (ISSN 2184-4534). INE. <https://www.ine.pt>
- James, A., & Buffel, T. (2022). Co-research with older people: A systematic literature review. *Ageing & Society*, 43(8), 1799–1825. <https://doi.org/10.1017/S0144686X21001604>
- Littlechild, R., Tanner, D., & Hall, K. (2015). Co-research with older people: Challenges and opportunities. *Qualitative Social Work*, 14(2), 150–166. <https://doi.org/10.1177/1473325014556987>
- Marques da Costa, E., Marques da Costa, N., Louro, A., & Barata, M. (2020). “Geografias” do acesso dos idosos aos cuidados de saúde primários na Área Metropolitana

- de Lisboa, Portugal — um território de diferenças. *Saúde e Sociedade*, 29(2), e200108. <https://doi.org/10.1590/S0104-12902020200108>
- Nossa, P., & Mota-Pinto, A. (2020). Envelhecimento demográfico em Portugal: Desafios e oportunidades. Em A. Mota-Pinto (Ed.), *Envelhecimento na sociedade contemporânea* (pp. 15–42). Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Osborn, M. (1985). A note on the participation of older people in research. *Ageing & Society*, 5(3), 345–347. <https://doi.org/10.1017/S0144686X00013763>
- Palma, P., da Costa, E. M., & da Costa, N. M. (2017). Disparidades regionais no acesso aos serviços de saúde em territórios de baixa densidade. Em B. Soares et al. (Ed.), *Construindo cidades saudáveis: Utopias e práticas* (pp. 453–487). Assis Editora.
- Penchansky, R., & Thomas, J. W. (1981). The concept of access: Definition and relationship to consumer satisfaction. *Medical Care*, 19(2), 127–140. <https://doi.org/10.1097/00005650-198102000-00001>
- Pereira, S., Figueiredo, C., Marques, M., Lopes, A., Pita, A., & Mota-Pinto, A. (2021). Impacto dos incêndios florestais de 2017 na saúde mental de crianças e adolescentes. *Acta Médica Portuguesa*, 34(3), 189–196. <https://doi.org/10.20344/amp.13515>
- Pisco, L. (2011). A reforma dos cuidados de saúde primários em Portugal. *Ciência & Saúde Coletiva*, 16(Supl. 1), 1189–1200. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232011000700036>
- Poulin, C., Skinner, M., & Hanlon, N. (2020). *Rural health services: A guide to delivering services in small communities*. University of Toronto Press.
- Pruchno, R. (2015). Successful aging: Contentious past, productive future. *The Gerontologist*, 55(1), 1–4. <https://doi.org/10.1093/geront/gnu158>
- Slater, T. (2013). Your life chances affect where you live: A critique of the “cottage industry” of neighbourhood effects research. *Health & Place*, 29, 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2013.09.004>
- Tavares, J., Gonçalves, L. J., & Santinha, G. (2019). Análise espacial da oferta de cuidados de saúde em Portugal. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*, 54, 31–41.
- Tedim, F., Barros, I., Campos, P., & Carvalho, S. (2012). A relevância das variáveis demográficas na explicação dos incêndios florestais. Em F. Tedim & V. Miranda (Ed.), *A dimensão social dos incêndios florestais* (pp. 129–164). Universidade Fernando Pessoa.
- Verma, I., & Taegen, J. (2021). *Age-friendly environments in Europe: A handbook of domains for policy action*. WHO Regional Office for Europe.
- Villaverde Cabral, M., Ferreira, P. M., Silva, P. A. d., Jerónimo, P., & Marques, T. (2013). *Processos de envelhecimento em Portugal*. Fundação Francisco Manuel dos Santos.
- Walker, A. (2007). Why involve older people in research? *Age and Ageing*, 36(5), 481–483. <https://doi.org/10.1093/ageing/afm100>
- World Health Organization. (2015). *World report on ageing and health*. WHO Press.
- Zuniga, S., Buffel, T., & Arrieta, A. (2021). Co-production and co-creation in aging research. *Journal of Aging & Social Policy*, 33(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/08959420.2020.1851141>

Demographic Influences on Basic Psychological Needs and Behavioral Intentions of Cultural Tourists

Influência demográfica nas necessidades psicológicas básicas e nas intenções comportamentais dos turistas culturais

Kartal Doğukan Çiki^a ^{*1} and Haluk Tanriverdi ^{**2}

¹*Istanbul Gelisim University, Faculty of Economics, Administrative and Social Sciences, Department of Tourism Guidance, Istanbul, Turkey*

²*Istanbul University Faculty of Economics, Department of Tourism Management, 34126, Istanbul, Turkey, Department of Tourism Guidance, Istanbul, Turkey*

^aThis research is derived from a section of Kartal Doğukan Çiki's doctoral thesis (Examining the relationships between tourists' subjective well-being, destination loyalty, behavioral intentions and basic psychological needs within the scope of self-determination theory).

Abstract

This research examines whether cultural tourists' basic psychological needs (autonomy, competence and relatedness) and behavioral intentions (revisit intention and word-of-mouth communication) differ according to demographic variables (age, gender, education level, marital status and monthly income level). The study adopts a quantitative research design and analyzes the data obtained from 342 domestic cultural tourists visiting Istanbul through multiple data collection methods including both online and face-to-face surveys. The research findings show that the basic psychological needs of cultural tourists are largely independent of demographic factors. While no significant differences were found in autonomy, competence and relatedness needs according to gender, education and income level, only relatedness needs differed between age groups. In addition, a significant difference was found in tourists' revisit intentions according to marital status.

Keywords: Cultural tourist. Demographic characteristics. Behavioral intentions. Basic psychological needs. Self-determination theory.

Resumo

Esta investigação procura analisar se as necessidades psicológicas básicas dos turistas culturais (autonomia, competência e capacidade de relacionamento) e as intenções comportamentais (intenção de visitar um local ou a comunicação boca a boca) diferem em função de variáveis demográficas (idade, género, nível de escolaridade, estado civil e situação financeira mensal). Adota-se um método de investigação quantitativa e analisam-se os dados obtidos a partir de uma amostra de 342 turistas culturais nacionais que visitaram Istambul, recorrendo, para isso, a vários métodos de recolha de dados, incluindo a realização de inquéritos online e de inquéritos presenciais. Os resultados da investigação revelam que as necessidades psicológicas básicas destes turistas são, em grande parte, independentes

Cadernos de
Geografia

doi: https://doi.org/10.14195/0871-1623_53_10

Received on:
October 25, 2025
Accepted on:
February 12, 2026

*Email: kdciki@gelisim.edu.tr

**Email: haluktanriverdi@istanbul.edu.tr

de fatores demográficos. Apesar de não haver diferenças significativas nas necessidades de autonomia, competência e relacionamento de acordo com o gênero, a educação e o nível de rendimentos, verificou-se que as necessidades de relacionamento diferiram consoante as faixas etárias. Além disso, detetou-se uma diferença significativa na intenção de visitar um local de acordo com o estado civil dos turistas.

Palavras-chave: Turista cultural. Características demográficas. Intenções comportamentais. Necessidades psicológicas básicas. Teoria da auto-determinação.

1. Introduction

There are many factors that shape tourists' travel experiences (Coelho et al., 2018; Kim, 2010; Ortiz et al., 2024). In the context of cultural tourism, individuals' travel decisions and experiences may be directly related not only to the opportunities offered by the destination, but also to various factors such as their demographic characteristics and basic psychological needs (Boukas, 2013; Çiki et al., 2025; Pestana et al., 2020). However, there is a significant gap in the literature on how these factors affect behavioral intentions.

Psychological needs have a basic role in making sense of individuals' travel behaviors (Deci et al., 2017; Ryan & Deci, 2020). Autonomy, competence and relatedness are recognized as the three main factors that determine how individuals evaluate their travel experiences (Deci & Ryan, 2000; Ryan & Lynch, 1989). Cultural tourists experience psychological needs such as the ability to act independently (autonomy), to internalize cultural knowledge (competence), and to establish a social connection with the place visited (relatedness) to varying degrees (Ahn, 2020; Landon et al., 2020). However, the priority of these needs may vary depending on demographic factors such as age, education, gender and income level.

Demographic variables can influence not only individuals' psychological needs, but also their revisit intentions and word-of-mouth behavior (Kim et al., 2009). For instance, younger tourists' interest in cultural experiences tends towards more interactive and digital content, while older age groups focus on more authentic and traditional components (Kasemsarn & Nickpour, 2025). Similarly, individuals with higher levels of education are more likely to evaluate their travel experiences in a more informed way and are more likely to share these experiences (Oliveira et al., 2020). In addition, gender is also a determining factor in tourists' behavioral intentions (Khajehshahkoobi et al., 2022; Kim et al., 2011). Some studies indicate that female tourists show more interest in cultural and artistic activities, while men prefer more exploration-oriented travel (Zhou, 2014).

In this context, studies on tourists' behavioral intentions show that the desire to revisit and word-of-mouth communication are critical for destination sustainability (Kusumawati et al., 2020; Tanriverdi & Çiki, 2024). In cultural tourism, in order for a destination to have a lasting appeal, it is necessary to identify the psychological factors that increase the satisfaction level of tourists. Although previous studies have addressed psychological needs and behavioral intentions, the relationship between

psychological needs and tourists' revisit intentions has not been sufficiently examined in the context of demographic factors.

This research aims to explore how the basic psychological needs and behavioral intentions of cultural tourists are shaped according to demographic variables. Furthermore, focusing specifically on domestic tourists and addressing destinations with a rich cultural heritage such as Istanbul increases the contribution made from an internal tourism perspective. Within the scope of the research, answers to the following two main questions will be sought:

1. Do cultural tourists' psychological needs such as autonomy, competence and relatedness differ depending on demographic factors such as age, gender, education and income level?
2. Do cultural tourists' behavioral intentions such as revisit intentions and word-of-mouth communication differ depending on demographic factors such as age, gender, education and income level?

2. Literature Review

2.1. Cultural Tourism & Behavioural Intentions

Cultural tourism creates an experiential space that offers visitors the opportunity to explore a destination's tangible and intangible heritage, observe local lifestyles, and engage with different layers of cultural meaning (Richards, 2007). This contact, which occurs through cultural resources such as historical structures, traditional arts, religious rituals, or everyday life practices, creates a multi-layered impact on both individuals and society (Lak et al., 2020). Cultural tourism practices not only generate economic gains but also contribute to the preservation of collective memory and the redefinition of local values (Surata et al., 2024). However, this process may not always yield positive results. Issues such as cultural homogenization, the commercialization of local culture, and the deterioration of authentic structures may also arise (MacLeod, 2006).

In the context of cultural tourism, visitors do not usually just tour a place, they also want to experience the identity, history, and symbolic value that the place represents (Smith, 2015). In this sense, cultural tourism is a process in which visitors interact on cognitive, emotional, and social levels (Zhao & Lin, 2014). This multifaceted interaction is one of the key factors shaping tourists' assessments of the destination and their subsequent behavioral tendencies (Chen & Rahman, 2018). Therefore, experiences developed in the context of cultural tourism have the potential to influence not only the level of satisfaction at that moment, but also the tourist's future preferences (Seyfi et al., 2020).

Understanding the impact of tourist experiences on behavioral intentions is important for determining whether visitors develop a lasting connection with the destination (Prayag et al., 2013). In cultural tourism, the formation of such intentions is related not only to the physical experience but also to the extent to which the visitor's psychological needs are fulfilled (Kay, 2009). Certain psychological structures

can determine the level to which tourists identify with the destination (Yoo et al., 2018).

Recent studies have shown that visitors have high levels of intrinsic motivation in the context of cultural tourism and that this motivation is related to basic psychological needs (Çiki & Tanriverdi, 2025; Huang & Wang, 2023). Self-determination theory provides an explanatory framework for understanding tourists' motivations (Aicher & Brenner, 2015). According to this theory, individuals' intrinsic motivation is possible when their needs for autonomy, competence, and relatedness are met (Deci & Ryan, 2000). Cultural tourists can be expected to develop a stronger attachment to the destination when they encounter experiences that satisfy these needs (Chen & Rahman, 2018). This directly contributes to the formation of behavioral tendencies such as revisiting or recommending to others.

Furthermore, cultural tourism experiences also yield powerful results in the context of social interaction (Ponsignon & Derbaix, 2020). The visitor's direct communication with the local community, participation in traditional practices, or firsthand experience of local narratives are fundamental elements that fulfill the need for connection (Çiki & Tanriverdi, 2025). This social dimension is not only a factor influencing behavioral intentions but also the primary determinant of the tourist's emotional attachment to the destination (Di Pietro et al., 2012).

Consequently, the relationship between cultural tourism and behavioral intentions is multi-layered and context-sensitive (Wang et al., 2025). The tourist's personal characteristics, travel motivations, and the content encountered during the experience can directly influence the course of this relationship (Costa Mendes et al., 2010). Therefore, strategies developed in the context of cultural tourism must be based not only on content production but also on structures that consider psychological needs, encourage social interaction, and support sustainable participation.

2.2. Self-Determination Theory

Self-Determination Theory (SDT) is a comprehensive theory developed to understand the motivations and behaviors of individuals (Deci & Ryan, 2000). According to this theory, individuals have basic psychological needs (BPNs) that drive their intrinsic motivation (Ryan & Deci, 2000). SDT explains an individual's behavior not only through extrinsic rewards and punishments but also through intrinsic factors (Ryan, 1995). In the tourism context, the framework provided by SDT helps to understand whether tourists are satisfied with their travel experiences and how these experiences shape their future behavior (Ahn & Back, 2019; Buzinde, 2020; Çiki & Tanriverdi, 2023; Çiki et al., 2025; Lin et al., 2021). Cultural tourists' satisfaction with their experiences is directly related to the extent to which their basic psychological needs are fulfilled (Kim, 2024).

One of the psychological needs revealed by SDT is autonomy (Deci et al., 2001; Guay, 2021). Autonomy refers to the feeling of being able to make one's own choices and having freedom of movement (Deci & Ryan, 2000). In the context of cultural tourism, autonomy means that tourists can shape their travel plans according to their own interests, make individual discoveries and direct their experiences freely.

Providing autonomy can allow tourists to build a stronger bond with the destination and have more satisfying experiences (Ahn & Back, 2019). Especially young and highly educated tourists prefer travel options that provide flexibility and adapt to personal preferences rather than rigid tour programs.

Another basic psychological need, competence, refers to the desire of individuals to feel that they are successful in something and to develop their competence (Vansteenkiste et al., 2006). Cultural tourists have a strong motivation to learn about the destinations they visit, understand historical buildings, interpret works of art and make sense of a new culture. However, in order for tourists to gain this sense of competence, destinations need to provide informative and educational opportunities. For instance, guided tours, interactive museums and programs that encourage interaction with local people are among the elements that increase tourists' sense of competence.

The third basic psychological need of SDT is relatedness. Relatedness is the need to feel part of a social community and to establish meaningful social relationships (Vansteenkiste et al., 2010). Cultural tourists not only want to experience physical places in their destinations, but also want to gain a sense of belonging by interacting with local people. Activities such as tasting local food, attending festivals or experiencing traditional arts allow cultural tourists to establish an emotional connection with the destination.

Demographic factors play an important role in determining the extent to which individuals are able to fulfill their basic psychological needs. Variables such as age, gender, education level and income level may cause tourists to experience their needs for autonomy, competence and relatedness in different ways. For instance, older tourists prefer more structured and guided tours, while younger tourists are more open to individual exploration. Likewise, tourists with higher levels of education may value cultural experiences more and derive more satisfaction from learning processes.

The level of fulfillment of basic psychological needs can directly affect tourists' revisit intentions and word-of-mouth behaviors (Japutra & Keni, 2020). Tourists who experience high levels of autonomy, competence and relatedness in the destination tend to share these experiences with others and are more likely to revisit the destination (Ahn, 2020). This is an important issue for the sustainability of cultural tourism because positive word of mouth contributes to the long-term success of the destination.

In the body of knowledge, it is possible to come across research on the relationship between basic psychological needs and tourism in various contexts (Aicher & Brenner, 2015; Çiki & Akgoz, 2025; Gatling et al., 2016; Guden & Safaeimanesh, 2022; Hsu, 2013; Li et al., 2024; Lin et al., 2021; Soltani Nejad et al., 2024). However, there is a gap in research on whether cultural tourists' basic psychological needs and behavioral intentions differ depending on demographic factors. Accordingly, the current research contributes to the related literature by analyzing how these two variables differ according to demographic factors.

3. Methodology

In this research, a quantitative research design was adopted to collect data and the survey method was preferred. The questionnaire consists of demographic statements and items assessing the basic psychological needs and behavioral intentions of cultural tourists. The scale developed by Ahn & Back (2019) was borrowed to measure the basic psychological needs of cultural tourists, and the items in Ahn's paper (2020) were used to assess behavioral intentions.

The sample of the study consists of domestic cultural tourists (N=342) visiting Istanbul. The data were collected both online and face-to-face. The data were collected between July 15, 2023, and October 25, 2023. The main reason Istanbul was chosen for this study is that it is Turkey's most diverse and culturally rich destination. The city offers a rich context for cultural tourism experiences by bringing together multi-dimensional cultural elements such as historical structures, museums, religious sites, traditional lifestyles, and contemporary art productions. Furthermore, Istanbul's status as a constant attraction for both international and domestic tourists ensures that cultural tourist profiles consist of individuals with broader and more diverse demographic characteristics. This diversity provides an ideal ground for examining the relationship between demographic variables and psychological needs and behavioral intentions.

Before data analysis, the reliability and validity of the scales were evaluated. Prior to factor analysis, the suitability of the data for factor analysis was tested using the Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) measure and Bartlett's sphericity test. For the basic psychological needs scale, the KMO value was 0.841, and Bartlett's Test result was $p < .001$. For the behavioral intentions scale, the KMO value was 0.817, and Bartlett's Test result was $p < .001$. The internal consistency of the scales was tested by calculating Cronbach's alpha coefficient, and construct validity was examined by factor analysis. Analyses for the research questions were conducted using SPSS statistical software, and the differences between demographic variables and basic psychological needs and behavioral intentions were examined by applying t-test and one-way analysis of variance (ANOVA). Finally, skewness and kurtosis values were evaluated and found to be between -2 and +2. Since these values revealed that the data showed a normal distribution, parametric tests were used in the analysis process (George & Mallery, 2019).

4. Results

4.1. Descriptive Characteristics

Table 1 summarizes the demographic characteristics of the 342 domestic cultural tourists who participated in the study. When the gender distribution is analyzed, it is seen that there are more male participants (55.0%) than female participants (45.0%) in the sample. In terms of age, 34.0% of the participants were between the ages of 18-26, followed by the 27-35 age group with 23.4%. In terms of educational level, the largest group is bachelor's degree graduates with 50.6%, followed by associate's degree graduates with 25.7%, master's degree or doctorate with 14.3% and

high school graduates with 9.4%. In terms of marital status, 60.2% of the respondents were single and 39.8% were married. In terms of monthly income distribution, 30.7% of the participants have an income between 12,001-22,000 TL, followed by the 22,001-32,000 TL income group with 26.9%.

Table 1. Participants' Demographic Details

Characteristics	N	%
Gender		
Male	188	55
Female	154	45
Total	342	100
Age		
18–26	116	34
27–35	80	23.4
36–44	63	18.4
45–53	48	14.0
54 and older	35	10.2
Total	342	100
Education Level		
High School	32	9.4
Associate Degree	88	25.7
Bachelor's Degree	173	50.6
Master's Degree or Doctorate	49	14.3
Total	342	100
Marital Status		
Married	136	39.8
Single	206	60.2
Total	342	100
Monthly Income (TRY)		
12,000₺ or below	61	17.8
12,001-22,000₺	105	30.7
22,001-32,000₺	92	26.9
32,001-42,000₺	48	14
42,001₺ and above	36	10.5
Total	342	100

Notes: The minimum wage in Turkey was 11,402 TL in July 2023, this corresponded to an average wage of \$483 in July 2023.

Table 2 summarizes the results, reliability analyses and factor loadings of the measurement items used in the study. As a result of the analyses, Cronbach's alpha (α) coefficient for each variable was above 0.7, indicating that the scales have high reliability (Hair et al., 2020). In addition, all factor loadings above 0.6 indicate that the relevant items strongly represent the constructs they measure and support the validity of the measurement instruments (Hair et al., 1998).

Table 2. The results of measurement items

Constructs–Items	SD	Factor loadings
BPNs ($\alpha=0.86$)		
Autonomy1	1.13	0.941
Autonomy2	1.06	0.973
Autonomy3	1.14	0.937
Competence4	1.09	0.875
Competence5	1.17	0.852
Competence6	1.12	0.948
Relatedness7	1.21	0.826
Relatedness8	1.08	0.831
Relatedness9	1.28	0.914
BIs ($\alpha=0.92$)		
Word-of-mouth1	1.03	0.817
Word-of-mouth2	1.19	0.852
Revisit intention3	1.24	0.898
Revisit intention4	1.16	0.815

4.2. Results of Difference Tests (T-tests and ANOVA)

Levene's test was used to assess the homogeneity of variance assumption, and the results indicated that this assumption was met for the relevant variables ($p > .05$). In addition, skewness and kurtosis values ranged between -2 and $+2$, suggesting that the data were approximately normally distributed. Therefore, parametric tests were used for group comparisons.

4.2.1. The BPNs of cultural tourists according to demographic characteristics

An independent sample T-test was conducted to evaluate whether there are significant differences in cultural tourists' BPNs depending on gender. First of all, according to the independent sample T-test results, it was examined whether there was a significant difference in the psychological needs of cultural tourists listed as autonomy, competence and relatedness according to their gender ($p > 0.05$). As a result of the analysis, no statistically significant difference was found between

male and female participants' mean scores for autonomy ($t = 0.41$, $p = 0.617$), competence ($t = 0.22$, $p = .826$) and relatedness ($t = 0.25$, $p = .803$). These results show that the basic psychological needs of cultural tourists do not differ according to gender variable.

An independent sample T-test was conducted to determine whether the basic psychological needs of cultural tourists differ according to marital status. No statistically significant difference was found ($p > 0.05$) in autonomy ($t = 0.51$, $p = .610$), competence ($t = 0.33$, $p = .743$), or relatedness ($t = 0.28$, $p = .612$) needs. These findings show that the basic psychological needs of cultural tourists are shaped independently of marital status.

One-way ANOVA analysis was conducted to examine whether the basic psychological needs of cultural tourists differ according to age group. The result of ANOVA analysis shows that there is no significant difference in the need for autonomy ($F = 0.35$, $p = .786$) according to the age group of cultural tourists. This shows that cultural tourists have similar levels of autonomy perception regardless of their age. Therefore, it can be said that individuals' need to act independently in their travel experiences does not change depending on their age. Similarly, in the analysis of the competence variable ($F = 0.41$, $p = .513$), no significant difference was observed between age groups. The fact that the perception of efficacy is experienced similarly in different age groups indicates that individuals do not feel more adequate or inadequate as they get older. Finally, there was a significant difference in the need for relatedness according to participants' age groups ($F = 4.34$, $p = .002$). This finding indicates that cultural tourists' feelings of social connectedness are not entirely independent of the age variable. According to the post-hoc test, participants aged 27-35 tended to have more social interaction and a greater sense of belonging than participants aged 45-53.

One-way ANOVA analysis was conducted to determine whether the basic psychological needs of cultural tourists differ according to the level of education. The findings indicated that there was no statistically significant difference in any of the psychological needs of autonomy ($F = 0.41$, $p = .546$), competence ($F = 0.36$, $p = .597$) and relatedness ($F = 0.37$, $p = .618$). In conclusion, the findings show that education level is not a determining factor on the BPNs of cultural tourists.

One-way ANOVA analysis was applied to determine whether the basic psychological needs of cultural tourists differ according to monthly income level. The results of the analysis showed that there was no statistically significant difference in the autonomy ($F = 0.37$, $p = .456$), competence ($F = 0.26$, $p = .889$) and relatedness ($F = 0.24$, $p = .864$) psychological needs of cultural tourists according to monthly income levels. The results show that monthly income is not a determining factor on the basic psychological needs of cultural tourists.

4.2.2. The BIs of cultural tourists according to demographic characteristics

The results of the independent sample T-test analysis show that there is no statistically significant difference ($p > 0.05$) in word-of-mouth communication ($F = 0.28$, $p = .703$) and revisit intentions ($F = 0.36$, $p = .661$) according to the gender of the participants. This finding reveals that male and female cultural tourists have similar

tendencies to revisit a destination. Likewise, no significant difference was observed between the genders in their tendency to recommend the destination to others and share their travel experiences.

According to the independent sample T-test results, a statistically significant difference was found in the revisit intentions of cultural tourists depending on marital status ($t = 2.49$, $p = .013$, $p < .05$). However, no significant difference was found in terms of word-of-mouth communication ($t = 0.64$, $p = .521$, $p > .05$). In this context, the results of post-hoc test suggest that single cultural tourists are more likely to revisit the destination than married tourists. On the other hand, there is no significant difference between married and single individuals in terms of their intention to recommend and share their destination experiences.

One-way ANOVA analysis was conducted to examine whether the behavioral intentions of cultural tourists differ according to age group. As a result of ANOVA analysis, no significant difference was found in word-of-mouth communication ($F = 0.459$, $p = 0.826$) and revisit intention ($F = 0.46$, $p = .826$) according to the age group of cultural tourists.

According to the results of the one-way ANOVA analysis conducted to determine whether the behavioral intentions of the participants differ according to the level of education, no statistically significant difference was found in word-of-mouth communication ($F = 0.37$, $p = .491$) and revisit intention ($F = 0.41$, $p = .556$).

Finally, the results of the analysis conducted to determine whether the behavioral intentions of the participants differ according to the monthly income level showed that there was no statistically significant difference in word-of-mouth communication ($F = 0.37$, $p = .491$) and revisit intention ($F = 0.41$, $p = .556$).

5. Conclusion

This research examined how cultural tourists' basic psychological needs and behavioral intentions differ according to demographic factors. The findings reveal that cultural tourists' basic psychological needs (except for relatedness by age) and behavioral intentions largely do not differ depending on demographic variables (except for revisit intention by marital status).

These findings suggest that individual experiences and intrinsic motivations in cultural tourism can be shaped independently of demographic variables. However, the results obtained within the scope of this study need to be supported by studies with larger samples and in different contexts. When developing destination management and tourism marketing strategies for cultural tourism, it is suggested that enriching individual experiences should be evaluated together with the impact of demographic characteristics. Thus, a more comprehensive approach can be adopted to better understand the travel preferences of different tourist profiles.

The results of the study reveal that cultural tourism destinations should develop strategies that appeal to large audiences but prioritize individual experience. Offering interactive and participatory experiences that support tourists' basic psychological needs can increase the attractiveness of destinations. In addition, the fact that tourists tend to share their experiences through word-of-mouth communica-

tion reveals the importance of adopting a sustainable tourism approach in terms of destination management.

This is one of the first studies to address how demographic differences shape basic psychological needs and behavioral intentions in the context of cultural tourism. Moreover, the fact that cultural tourists exhibit similar travel experience expectations and behavioral tendencies despite demographic differences provides important clues for future research in this field.

One of the important results of the research is that cultural tourists' recommendation intentions are independent of specific demographic factors. This finding suggests that destination managers should develop general strategies to improve the quality of the destination experience, rather than focusing specifically on factors such as age or education level, in order to get tourists to recommend the destination. To this end, ways should be found to stay engaged with visitors after the trip. Destination managers can create post-return engagement mechanisms to ensure that tourists remember their cultural experiences for longer. For instance, digital newsletters that provide visitors with specially designed cultural content, virtual events featuring local artists or historians, and collective projects that keep them connected to the destination can sustain cultural tourists' interest in the destination in the long term.

Considering that the need for relatedness differs significantly with age, applying post-travel interaction strategies in the same way to all age groups may not produce the expected psychological response in some subgroups. Especially for age groups with a higher tendency to form social bonds, designing digital content to be more interactive, participatory, and socially connection-oriented may be important for the continuity of this need. In contrast, for age groups with lower levels of relatedness, designing content to be more suited to individual consumption patterns and appealing to personal interests may be more functional. In this context, while maintaining the recommended "general" strategy approach, developing a flexible and responsive interaction model that takes into account age-related differences in the need for relatedness can strengthen both visitor satisfaction and destination loyalty.

Although most demographic variables did not yield significant differences in this study, this outcome may suggest that the cultural tourist group represents a relatively homogeneous segment in terms of psychological orientation. Rather than being shaped by age, gender, or income, the experiences and intentions of cultural tourists may be more strongly influenced by shared internal motivations, such as a desire for learning, personal enrichment, and meaningful engagement. This shared motivational framework may reduce the impact of demographic diversity, leading to more consistent responses across different groups. Future research could examine this possibility by comparing cultural tourists with other tourist types to explore whether this consistency is specific to cultural tourism or reflects broader patterns in travel motivation.

These practical implications can help businesses and destination managers operating in the cultural tourism sector to develop more effective services by taking into account the basic psychological needs of tourists. The study reveals that demographic variables do not have a decisive effect on the psychological and behavioral

tendencies of cultural tourists, suggesting that tourism policies should be developed with a more inclusive and holistic approach.

5.1. Limitations

This research was conducted only with domestic cultural tourists visiting Istanbul. The results cannot be generalized to different destinations or international cultural tourists. Comparative research involving different geographical regions and international tourist groups can be conducted in the future. The current research examined the differences in basic psychological needs and behavioral intentions according to demographic variables. However, cultural, socio-psychological or personality factors that may influence individual differences were not addressed. Future studies could be designed to include additional variables such as individual motivations, cultural context and personality traits. The study also did not control for factors such as first-time versus repeat visitors, which may significantly affect behavioral intentions and psychological need satisfaction. Future studies could differentiate between these groups to better understand how prior experience shapes tourists' perceptions and intentions. The research did not account for tourists' length of stay or the intensity of their engagement with the destination, which may have affected their evaluations. A brief visit may not provide sufficient time for meaningful social interaction or personal exploration, which could limit the fulfillment of psychological needs. Future studies could control for trip duration and activity types to better understand their moderating effects.

Ethical approval

Ethical approval for this research was obtained from the Social Sciences and Humanities Research Ethics Committee of Istanbul University during its meeting dated 8 May 2023 (Meeting No. 2023-05), under the approval ID 2023/153. The research was conducted in full accordance with the relevant ethical guidelines and regulations, including the Declaration of Helsinki.

Declaration of Large Language Model

The authors used large language model (LLM) tools to improve the grammar, clarity, and translation quality of the manuscript. All content generated by these tools was thoroughly reviewed and edited by the authors to ensure accuracy and integrity.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants for their valuable contributions to this study.

References

- Ahn, J. (2020). Role of harmonious and obsessive passions for autonomy, competence, and relatedness support with integrated resort experiences. *Current Issues in Tourism*, 23(6), 756–769. <https://doi.org/10.1080/13683500.2019.1574722>
- Ahn, J., & Back, K.-J. (2019). The role of autonomy, competence, and relatedness: Applying self-determination theory to the integrated resort setting. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 31(1), 87–104. <https://doi.org/10.1108/IJCHM-01-2018-0088>
- Aicher, T. J., & Brenner, J. (2015). Individuals' motivation to participate in sport tourism: A self-determination theory perspective. *International Journal of Sport Management, Recreation and Tourism*, 18, 56–81. <https://doi.org/10.5199/ijsmart-1791-874X-18d>
- Boukas, N. (2013). Towards understanding youth travel experiences in cultural heritage destinations: An integrated framework of youth cultural tourists' behaviour. *International Journal of Tourism Anthropology*, 3(1), 3. <https://doi.org/10.1504/ijta.2013.054402>
- Buzinde, C. N. (2020). Theoretical linkages between well-being and tourism: The case of self-determination theory and spiritual tourism. *Annals of Tourism Research*, 83, 102920. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2020.102920>
- Chen, H., & Rahman, I. (2018). Cultural tourism: An analysis of engagement, cultural contact, memorable tourism experience and destination loyalty. *Tourism Management Perspectives*, 26, 153–163. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2017.10.006>
- Çiki, K. D., Ogretmenoglu, M., & Huang, T.-T. (2025). The influence of perceived music quality, atmosphere and place on music festival visitors' behavioural intentions: Satisfaction and subjective well-being's mediating roles. *International Journal of Event and Festival Management*, 16(1), 1–21. <https://doi.org/10.1108/IJEFM-06-2024-0067>
- Çiki, K. D., & Tanriverdi, H. (2025). Applying self-determination theory to understand cultural tourists' behavioural intentions. *Anatolia: An International Journal of Tourism and Hospitality Research*, 36(4), 839–858. <https://doi.org/10.1080/13032917.2025.2509570>
- Çiki, K. D., & Tanriverdi, H. (2023). Self-determination theory in the field of tourism: A bibliometric analysis. *Tourism: An International Interdisciplinary Journal*, 71(4), 769–781. <https://doi.org/10.37741/t.71.4.8>
- Çiki, S., & Akgoz, E. (2025). Exploring the relationships among nature-based tourists' subjective well-being, travel motivation and revisit intentions within the scope of self-determination theory. *European Journal of Tourism, Hospitality and Recreation*, 15(1), 91–104. <https://doi.org/10.2478/ejthr-2025-0007>
- Coelho, M. d. F., Gosling, M. d. S., & Almeida, A. S. A. d. (2018). Tourism experiences: Core processes of memorable trips. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 37, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2018.08.004>
- Costa Mendes, J. d., do Valle, P. O., Guerreiro, M. M., & Silva, J. A. (2010). The tourist experience: Exploring the relationship between tourist satisfaction and destination loyalty. *Tourism: An International Interdisciplinary Journal*, 58(2), 111–126.
- Deci, E. L., Olafsen, A. H., & Ryan, R. M. (2017). Self-determination theory in work organizations: The state of a science. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 4, 19–43. <https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-032516-113108>

- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The “what” and “why” of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227–268. https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01
- Deci, E. L., Ryan, R. M., Gagné, M., Leone, D. R., Usunov, J., & Kornazheva, B. P. (2001). Need satisfaction, motivation, and well-being in the work organizations of a former eastern bloc country: A cross-cultural study of self-determination. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 27(8), 930–942. <https://doi.org/10.1177/0146167201278002>
- Di Pietro, L., Di Virgilio, F., & Pantano, E. (2012). Social network for the choice of tourist destination: Attitude and behavioural intention. *Journal of Hospitality and Tourism Technology*, 3(1), 60–76. <https://doi.org/10.1108/17579881211206543>
- Gatling, A., Kim, J. (, & Milliman, J. (2016). The relationship between workplace spirituality and hospitality supervisors' work attitudes. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 28(3), 471–489. <https://doi.org/10.1108/ijchm-08-2014-0404>
- George, D., & Mallery, P. (2019). *Ibm spss statistics 25 step by step: A simple guide and reference* (15th ed.). Routledge, Taylor; Francis Group.
- Guay, F. (2021). Applying self-determination theory to education: Regulations types, psychological needs, and autonomy-supporting behaviors. *Canadian Journal of School Psychology*, 37(1). <https://doi.org/10.1177/08295735211055355>
- Guden, N., & Safaeimanesh, F. (2022). Using self-determination theory to assess the tourism service product at local level: The case of north cyprus. *Worldwide Hospitality and Tourism Themes*, 14(4), 329–338. <https://doi.org/10.1108/WHATT-03-2022-0042>
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Back, W. C. (1998). *Multivariate data analysis* (5th ed.). Prentice Hall.
- Hsu, L. (2013). Work motivation, job burnout, and employment aspiration in hospitality and tourism students: An exploration using the self-determination theory. *Journal of Hospitality, Leisure, Sport & Tourism Education*, 13, 180–189. <https://doi.org/10.1016/j.jhlste.2013.10.001>
- Japutra, A., & Keni, K. (2020). Signal, need fulfilment and tourists' intention to revisit. *Anatolia: An International Journal of Tourism and Hospitality Research*, 31(2), 1–15. <https://doi.org/10.1080/13032917.2020.1806889>
- Kasemsarn, K., & Nickpour, F. (2025). Digital storytelling in cultural and heritage tourism: A review of social media integration and youth engagement frameworks. *Heritage*, 8(6), 200. <https://doi.org/10.3390/heritage8060200>
- Kay, P. L. (2009). Cultural experience tourist motives dimensionality: A cross-cultural study. *Journal of Hospitality Marketing & Management*, 18(4), 329–371. <https://doi.org/10.1080/19368620802590217>
- Khajehshahkoohi, M., Davoodi, S. R., & Shaaban, K. (2022). Factors affecting the behavioral intention of tourists on the use of bike sharing in tourism areas. *Research in Transportation Business & Management*, 43, 100742. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100742>
- Kim, J.-H. (2010). Determining the factors affecting the memorable nature of travel experiences. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 27(8), 780–796. <https://doi.org/10.1080/10548408.2010.526897>
- Kim, M.-J., Lee, M. J., Lee, C.-K., & Song, H.-J. (2011). Does gender affect Korean tourists' overseas travel? applying the model of goal-directed behavior. *Asia Pacific Journal*

- of *Tourism Research*, 17(5), 509–533. <https://doi.org/10.1080/10941665.2011.627355>
- Kim, T. (, Kim, W. G., & Kim, H.-B. (2009). The effects of perceived justice on recovery satisfaction, trust, word-of-mouth, and revisit intention in upscale hotels. *Tourism Management*, 30(1), 51–62. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tourman.2008.04.003>
- Kim, Y. (2024). Exploring the interplay of psychological need satisfaction, well-being, and behavioral intentions in tourism: A self-determination theory perspective [Advance online publication]. *Journal of Travel Research*. <https://doi.org/10.1177/00472875241283404>
- Kusumawati, A., Utomo, H. S., Suharyono, & Sunarti. (2020). Effects of sustainability on wom intention and revisit intention, with environmental awareness as a moderator. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 31(1), 273–288. <https://doi.org/10.1108/MEQ-03-2019-0064>
- Lak, A., Gheitasi, M., & Timothy, D. J. (2020). Urban regeneration through heritage tourism: Cultural policies and strategic management. *Journal of Tourism and Cultural Change*, 18(4), 386–403. <https://doi.org/10.1080/14766825.2019.1668002>
- Landon, A. C., Woosnam, K. M., Kyle, G. T., & Keith, S. J. (2020). Psychological needs satisfaction and attachment to natural landscapes. *Environment and Behavior*, 53(6), 661–683. <https://doi.org/10.1177/0013916520916255>
- Li, Y., Guo, Z., Hua, H., & Li, W. (2024). An empirical analysis of cultural differences in overseas tourism: How do they affect self-determination theory (sdt) needs by age? *International Journal of Intercultural Relations*, 99, 101936. <https://doi.org/10.1016/j.ijintrel.2024.101936>
- Lin, H., Zhang, M., & Gursoy, D. (2021). Effects of tourist-to-tourist interactions on experience cocreation: A self-determination theory perspective. *Journal of Travel Research*, 004728752110194. <https://doi.org/10.1177/00472875211019476>
- MacLeod, D. (2006). Cultural commodification and tourism: A very special relationship. *Tourism Culture & Communication*, 6(2), 71–84. <https://doi.org/10.3727/109830406777410580>
- Oliveira, T., Araujo, B., & Tam, C. (2020). Why do people share their travel experiences on social media? *Tourism Management*, 78, 104041. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2019.104041>
- Ortiz, O., Rusu, C., Rusu, V., Matus, N., & Ito, A. (2024). Tourist experience considering cultural factors: A systematic literature review. *Sustainability*, 16(22), 10042. <https://doi.org/10.3390/su162210042>
- Pestana, M. H., Parreira, A., & Moutinho, L. (2020). Motivations, emotions and satisfaction: The keys to a tourism destination choice. *Journal of Destination Marketing & Management*, 16, 100332. <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2018.12.006>
- Ponsignon, F., & Derbaix, M. (2020). The impact of interactive technologies on the social experience: An empirical study in a cultural tourism context. *Tourism Management Perspectives*, 35, 100723. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2020.100723>
- Prayag, G., Hosany, S., & Odeh, K. (2013). The role of tourists' emotional experiences and satisfaction in understanding behavioral intentions. *Journal of Destination Marketing & Management*, 2(2), 118–127. <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2013.05.001>
- Richards, G. (2007). *Cultural tourism: Global and local perspectives*. Haworth Hospitality Press.

- Ryan, R. M. (1995). Psychological needs and the facilitation of integrative processes. *Journal of Personality*, 63, 397–427. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6494.1995.tb00501.x>
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2020). Intrinsic and extrinsic motivation from a self-determination theory perspective: Definitions, theory, practices, and future directions. *Contemporary Educational Psychology*, 61, 101860. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101860>
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), 68–78. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.68>
- Ryan, R. M., & Lynch, J. H. (1989). Emotional autonomy versus detachment: Revisiting the vicissitudes of adolescence and young adulthood. *Child Development*, 60(2), 340–356.
- Seyfi, S., Hall, C. M., & Rasoolimanesh, S. M. (2020). Exploring memorable cultural tourism experiences. *Journal of Heritage Tourism*, 15(3), 341–357. <https://doi.org/10.1080/1743873X.2019.1639717>
- Smith, S. (2015). A sense of place: Place, culture and tourism. *Tourism Recreation Research*, 40(2), 220–233. <https://doi.org/10.1080/02508281.2015.1049814>
- Soltani Nejad, N., Rastegar, R., & Jahanshahi, M. (2024). Tourist engagement with mobile apps of e-leisure: A combined model of self-determination theory and technology acceptance model. *Tourism Recreation Research*, 49(4), 714–725. <https://doi.org/10.1080/02508281.2022.2100194>
- Surata, I. K., Sumartana, I. M., & Utama, I. G. B. R. (2024). The impact of cultural tourism on local traditions. *Jurnal Penelitian Pendidikan Indonesia*, 10(4), 672–683. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5088509>
- Vansteenkiste, M., Lens, W., & Deci, E. L. (2006). Intrinsic versus extrinsic goal contents in self-determination theory: Another look at the quality of academic motivation. *Educational Psychologist*, 41(1), 19–31. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4101_4
- Vansteenkiste, M., Niemiec, C. P., & Soenens, B. (2010). The development of the five mini-theories of self-determination theory: An historical overview, emerging trends, and future directions. In *Advances in motivation and achievement* (pp. 105–165, Vol. 16). [https://doi.org/10.1108/S0749-7423\(2010\)000016A00](https://doi.org/10.1108/S0749-7423(2010)000016A00)
- Yoo, C., Yoon, D., & Park, E. (2018). Tourist motivation: An integral approach to destination choices. *Tourism Review*, 73(2), 169–185. <https://doi.org/10.1108/TR-04-2017-0085>
- Zhao, D., & Lin, I. Y. (2014). Understanding tourists' perception and evaluation of intercultural service encounters: A holistic mental model process. *International Journal of Culture, Tourism and Hospitality Research*, 8(3), 290–309. <https://doi.org/10.1108/IJCTHR-09-2013-0070>
- Zhou, M. (2014). Gender difference in web search perceptions and behavior: Does it vary by task performance? *Computers & Education*, 78, 174–184. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.06.005>

Beyond Managerialism: A Critical Review of Overtourism Governance and the Chinese Challenge

Para além da gestão: uma revisão crítica da governança do sobreturismo e o desafio chinês

Li Ziming *¹

¹ Centre for Sustainable Urban Planning and Real Estate (SUPRE), Department of Urban and Regional Planning, Faculty of Built Environment, Universiti Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia

Abstract

Overtourism has become a prominent concept in tourism studies, but its rapid diffusion has not always been matched by equivalent theoretical development. This article argues that overtourism governance research remains largely shaped by a managerialist logic that frames the issue in terms of congestion, visitor pressure, and destination efficiency. Although this approach has generated useful instruments such as visitor caps, timed-entry systems, pricing mechanisms, dispersal strategies and crowd monitoring, it has also narrowed the field's analytical horizon. Adopting a critical review approach, the article synthesises selected scholarship on tourism governance, justice, degrowth, resilience, path dependence, platformisation, spatial governance and relational destination theory. It identifies four limitations in the literature: technocratic and linear framings, insufficient attention to power and political economy, weak recognition of socio-ecological relationality, and limited transferability beyond Western urban contexts. The article further argues that China is a theoretically significant setting for reconsidering overtourism governance. In state-led tourism systems shaped by developmental priorities, administrative hierarchy, public-holiday synchronisation, rapid infrastructure provision and uneven stakeholder participation, overtourism cannot be adequately understood through collaborative and managerial assumptions alone. The paper concludes by proposing a configurational and relational governance perspective that foregrounds justice, path dependence, spatial unevenness, socio-ecological interdependence and the structural conditions under which tourism excess becomes normalised.

Keywords: Overtourism. Tourism governance. Managerialism. China. Spatial governance.

Resumo

O sobreturismo tornou-se um conceito relevante nos estudos de turismo, mas a sua rápida difusão nem sempre se fez acompanhar do devido enquadramento teórico. Neste artigo sustenta-se que a pesquisa sobre governança do sobreturismo continua a ser amplamente moldada por uma lógica gerencialista que perspetiva o problema em termos de congestionamento, pressão dos visitantes e eficácia do destino. Embora essa abordagem tenha produzido medidas importantes, como a limitação do número de visitantes, o sistemas de entrada com horário marcado, mecanismos de precificação, estratégias de dispersão e monitoramento de multidões, ela também restringiu o horizonte analítico do campo de estudo.

*Email: 229875150@qq.com

Adotando uma abordagem de revisão crítica, este artigo sintetiza uma seleção de bibliografia dedicada à governança do turismo, à justiça, ao decrescimento, resiliência, dependência de trajetória, plataformização, governança espacial e teoria relacional dos destinos. Na revisão identificam-se quatro limitações principais: enquadramentos tecnocráticos e lineares; atenção insuficiente ao poder e à economia política; fraco reconhecimento da relacionalidade socioecológica e transferibilidade limitada para além de contextos urbanos ocidentais. O artigo indica ainda que a China apresenta um contexto teoricamente significativo para se repensar a governança do sobreturismo. Em sistemas turísticos liderados pelo Estado, moldados por prioridades desenvolvimentistas, hierarquia administrativa, sincronização dos feriados públicos, rápida provisão de infraestruturas e participação desigual dos stakeholders, o sobreturismo não pode ser compreendido apenas com base em pressupostos colaborativos e gerenciais. Por fim, propõe-se uma perspectiva configuracional e relacional de governança com ênfase na justiça, na dependência de trajetória, na desigualdade espacial, na interdependência socioecológica e nas condições estruturais, a partir das quais o excesso turístico se normaliza.

Palavras-chave: Sobreturismo. Governança do turismo. Gerencialismo. China. Governança espacial.

1. Introduction

Since the late 2010s, overtourism has become a central concept in tourism studies and policy debate. It is now widely used to describe situations in which tourism growth negatively affects residents' quality of life, visitor experience and destination sustainability (Koens et al., 2018; Mihalič, 2020). Yet the term's recent popularity should not obscure its older intellectual roots. Concerns about excessive tourism have long been explored through carrying capacity, destination life cycles, host irritation, sustainability limits and the politics of tourism development. What the term "overtourism" added was a more visible and politically resonant vocabulary that connected tourism pressure to urban conflict, resident dissatisfaction and public contestation (Capocchi et al., 2020; Milano et al., 2019).

However, the rapid expansion of the overtourism literature has not been matched by comparable theoretical development. Much of the field still treats overtourism as a problem of imbalance: too many visitors, excessive spatial concentration, inadequate regulation and insufficient coordination. This framing has encouraged a managerial policy repertoire centred on visitor-flow control, access restrictions, pricing, reservation systems, demarketing and destination redesign. While such interventions may be practically useful, they also reveal a deeper analytical tendency. Overtourism is frequently approached as a technical malfunction requiring better calibration, rather than as a political, developmental, geographical and socio-ecological condition rooted in growth imperatives, unequal power relations, spatial restructuring and institutional trajectories (Amore & Hall, 2016; Bramwell & Lane, 2011; Butler & Dodds, 2022).

This limitation becomes especially visible in the Chinese context. Chinese destinations are shaped by state-led tourism development, rapid infrastructure expansion, administrative hierarchy, public-holiday synchronisation and uneven stakeholder participation, which makes many Western-derived governance assumptions difficult to apply without adaptation. China therefore matters not merely as an empirical exten-

sion of the overtourism debate, but as a theoretically important setting that exposes the limits of governance frameworks built around stakeholder equilibrium, collaborative adjustment and managerial calibration.

The article makes three contributions. First, it clarifies that managerial responses to overtourism are not simply incomplete policy tools; they are embedded in a wider growth-oriented governance rationality. Second, it develops the geographical dimensions of overtourism by foregrounding spatial unevenness, territoriality, urban transformation, scale and spatial governance. Third, it proposes a configurational and relational governance perspective in which overtourism is understood as the outcome of historically path-dependent, spatially uneven, politically mediated and socio-ecologically embedded governance configurations. This contribution is conceptual rather than statistical: it aims to sharpen the theoretical language through which future empirical studies can examine overtourism beyond universal “best practice” models.

The article proceeds in six steps. It first clarifies the methodological positioning of the critical review. It then traces the conceptual evolution from carrying capacity to overtourism, examines the dominance of managerial governance, develops the political-economic and geographical dimensions of tourism pressure, and discusses justice, degrowth, resilience, path dependence and relational thinking. The final sections explain why China is theoretically significant and present an integrative framework for future overtourism governance research.

2. Methodological Positioning: A Critical Review Design

In response to the interpretative nature of the argument, this article adopts a critical review design rather than a systematic literature review or meta-analysis. Critical reviews are appropriate when the purpose is not to exhaustively catalogue all publications, but to interrogate concepts, compare assumptions, identify silences and develop a new interpretative position (Grant & Booth, 2009; Snyder, 2019). The review is therefore problem-driven: it asks how overtourism has been governed conceptually, what assumptions have become dominant, and which theoretical resources can help move the field beyond managerial correction.

The literature was selected through an iterative and purposive process. The first cluster consisted of influential overtourism studies addressing definitions, impacts, resident responses and governance instruments. The second cluster covered tourism-governance scholarship, including work on collaboration, meta-governance, sustainability governance and policy failure. The third cluster included critical perspectives on justice, degrowth, political economy, platformisation, resilience, path dependence, relationality and more-than-human approaches. The fourth cluster focused on China-related tourism governance, including state-led development, public-holiday mobility, heritage governance, platformised accommodation and path-dependent destination development. Sources were identified through keyword searches in major academic databases, backward and forward citation chaining, and the inclusion of recent high-impact contributions that directly shaped the debate.

To make the search strategy more explicit, searches were conducted primarily in Web of Science, Scopus and Google Scholar. Indicative search strings combined terms including “overtourism”, “tourism governance”, “managerialism”, “visitor management”, “degrowth”, “justice”, “platformisation”, “Airbnb”, “short-term rental”, “path dependence”, “spatial governance”, “China” and “state-led tourism”. The search focused mainly on English-language peer-reviewed literature published between 2010 and 2025, while earlier foundational works were retained when necessary to trace conceptual lineage.

The inclusion criteria were: (1) peer-reviewed works that explicitly address overtourism, tourism governance, tourism development pressure or closely related spatial and socio-ecological conflicts; (2) conceptual or empirical studies that illuminate the governance assumptions behind overtourism responses; (3) studies that help theorise power, justice, political economy, spatial unevenness, resilience, path dependence or relationality; and (4) China-focused studies that clarify the institutional and geographical specificity of tourism development. Excluded were purely descriptive destination reports, technical crowd-counting studies without governance implications, media commentary not grounded in academic analysis, and works whose relevance to overtourism governance was only indirect.

The analytical framing followed six sensitising questions: How is overtourism defined as a problem? Which actors are assumed to govern it? At what scale is pressure located? Which spatial relations and territorial effects are recognised or ignored? Which normative criteria are used to evaluate governance success? And how transferable are the implied solutions beyond Western urban contexts? This procedure does not claim the replicability of a systematic review; rather, it strengthens transparency by making explicit how the critical synthesis was bounded, interpreted and transformed into the configurational and relational perspective proposed below.

3. From Carrying Capacity to Overtourism: Continuity and Rupture

The overtourism debate is deeply rooted in older tourism scholarship. Long before the term gained prominence, researchers had already considered the possibility that destinations could exceed ecological, physical and social limits. Carrying-capacity thinking framed the issue through thresholds, while destination life-cycle models explored the consequences of growth, stagnation and decline. More broadly, sustainability scholarship questioned whether tourism expansion could truly be reconciled with long-term environmental and social well-being. In this sense, overtourism is not a complete rupture from earlier theory, but a reframing of longstanding concerns. Mihalič (2020) explicitly conceptualises overtourism through a sustainability perspective, and Capocchi et al. (2020) likewise argue that overtourism is better seen as a new label for an already known phenomenon than as an entirely novel issue.

At the same time, overtourism has introduced an important shift in emphasis. Koens et al. (2018) show that the term gained traction because it captures tourism pressure as a multidimensional social and urban condition rather than a mere numerical excess. Milano et al. (2019) similarly connect overtourism to four decades of local concerns, tourismphobia and contested urban change. Gössling et al. (2020)

add a socio-psychological layer by showing that overtourism is closely related to perceptions of crowding, place change and anti-tourist sentiment. These contributions matter because they move the debate beyond simple counting and toward lived experiences of tourism pressure.

Yet this conceptual broadening has not fully transformed the field's policy imagination. Even where overtourism is defined as multidimensional, the most common responses remain managerial: timed ticketing, reservation systems, tourist taxes, dispersal strategies, crowd analytics and "smart" monitoring systems. Research on digital response systems and quality-of-life management models, for example, still largely treats overtourism as a condition to be technically optimised rather than politically transformed (Camatti et al., 2020; Mihalič & Kuščer, 2021). Such work is valuable for practice, but it can also encourage scholars to ask how pressure can be reduced without asking why destinations become structurally dependent on high-volume tourism in the first place.

This is also where the geographical contribution of the overtourism debate should be made more explicit. Tourism pressure is not evenly distributed across abstract destination containers. It is concentrated in specific streets, neighbourhoods, heritage cores, transport corridors, waterfronts, sacred landscapes and platform-mediated residential areas. The problem is therefore not only how many tourists visit a destination, but how mobility, land use, infrastructure, symbolic value and administrative boundaries combine to produce spatially uneven pressure. This insight links overtourism to broader debates in urban tourism and spatial theory, which show that tourism cannot be separated from the production of urban space, mobility systems and place-based inequalities (Ashworth & Page, 2011; Sheller & Urry, 2006).

4. The Dominance and Limits of Managerial Governance

The dominance of managerialism is one of the clearest features of overtourism governance research. Butler & Dodds (2022), in their "review of failure," show that many overtourism responses remain partial, reactive and politically weak. Their contribution is important because it implies that governance failure is not only a matter of poor implementation; it may also stem from the conceptual narrowness of the dominant policy repertoire itself. Overtourism is often addressed through limited corrections to a growth-oriented tourism model rather than through deeper transformations of that model.

This diagnosis resonates strongly with the broader tourism-governance literature. Bramwell & Lane (2011) argue that governance discourse in tourism can easily become depoliticised, especially when collaboration, coordination and partnership are treated as inherently desirable without sufficient attention to conflict, inequality and competing values. Amore & Hall (2016) deepen this critique by calling for movement from governance to meta-governance, emphasising that governance arrangements are never value-neutral and always reflect power, interests and normative priorities. Hall (2011) further shows that governance types vary significantly in their implications for sustainability. Taken together, these studies suggest that overtourism governance should not be reduced to better coordination alone.

The managerial paradigm rests on three problematic assumptions. First, it assumes that overtourism is primarily a coordination failure. Second, it assumes that stakeholder interests can be aligned through better institutional design. Third, it assumes that the main objective is to preserve destination functionality while reducing conflict. Yet in many places overtourism is not simply a coordination failure; it is a foreseeable result of development strategies that actively reward visibility, branding, revenue maximisation, investment-led place transformation and competitive urban positioning. Under such conditions, governance is not a neutral solution to tourism growth. It is part of the political economy that sustains that growth.

The limits of managerialism are clearer when overtourism is examined geographically. Visitor caps may reduce crowding inside an attraction while displacing pressure to surrounding streets, transport nodes and residential districts. Dispersal policies may protect iconic cores while expanding tourism into neighbourhoods with weaker political voice. Pricing mechanisms may reduce demand while also redistributing access according to income. Smart monitoring may improve flow management while leaving untouched the deeper question of whose space is being reorganised for tourism consumption. These examples show that managerial tools can be necessary, but they are not sufficient when the underlying problem involves territorial conflict, spatial inequality and unequal rights to place.

Specific case studies reinforce this point. Research on Budapest shows that resident resistance is often tied not only to tourism itself, but also to broader urban discontent and development tensions (Smith et al., 2019). Work on Munich similarly demonstrates that local disturbances involve both crowding and changes in everyday social environments (Namberger et al., 2019). These findings complicate the idea that overtourism can be understood simply through visitor numbers or crowd-control thresholds.

5. Platformisation, Spatial Unevenness and the Political Economy of Overtourism

One of the most important developments in the overtourism literature has been the growing recognition of platformised tourism. Research on non-institutionalised accommodation and Airbnb-related change shows that overtourism is often intensified by digital short-term rental markets that reshape neighbourhoods, land use and housing affordability (Minoia, 2022; Sarantakou & Terkenli, 2019). This matters because it reveals that overtourism is not only a matter of destination popularity. It is also connected to platform capitalism, financialised urban change and new forms of extraction from residential space.

The housing question is especially revealing. Evidence on tourism activity and housing affordability shows that tourism intensity can contribute to housing stress and price effects, especially in destinations already structured around tourist demand (Mikulić et al., 2021). Once overtourism is linked to housing, displacement and everyday urban life, the limitations of purely managerial solutions become even more visible. Timed entry, pricing and dispersal strategies may reduce congestion at major attractions, but they do very little to address rent inflation, neighbourhood transfor-

mation or the commodification of living space. This is why platformisation should be treated as more than a side issue. It exposes how tourism pressure is produced through connections between digital markets, real-estate investment, neighbourhood amenities, transport accessibility and place branding. In geographical terms, overtourism becomes a problem of spatial unevenness: some groups benefit from the conversion of urban space into tourism value, while others experience displacement, loss of amenity, rising costs and diminished control over everyday places. Milano (2024) therefore argues that mass tourism, touristification and overtourism must be understood through the inconvenient truths of accumulation, conflict and social contestation rather than being dismissed as temporary disturbances.

A political-economic approach also helps explain why some destinations remain locked into tourism growth even after negative impacts become visible. Tourism development can generate fiscal dependence, employment dependence, investment dependence and reputational dependence. Local governments may know that overtourism is harmful, yet still fear the economic and political consequences of reducing visitor flows. Businesses may support “sustainable tourism” rhetorically while resisting policies that restrict volume. Residents may oppose crowding while depending on tourism income. These tensions cannot be resolved through technical optimisation alone; they require attention to the structural incentives that make tourism excess profitable and politically normal.

6. Justice, Ethics and Resident-Visitor Relations

A major weakness of overtourism scholarship is its uneven engagement with justice. Although many studies document resident irritation, anti-tourist sentiment and protest, these dynamics are not always theorised as distributive, procedural or recognitional injustices. Jamal & Camargo (2014) provide a crucial intervention by advocating the idea of the “just destination,” grounded in an ethic of care. Their work suggests that tourism should not be judged only by efficiency or performance, but also by whether it distributes benefits and burdens fairly and protects vulnerable groups.

This justice perspective has since been strengthened by a wider justice turn in tourism studies. Rastegar (2020) argues that governments play a central role in shaping tourism justice and can use the language of justice in ways that either empower or marginalise communities. Rastegar & Ruhanen (2022) further show that rapid tourism growth can generate injustice across four dimensions: distribution, procedure, recognition and restoration. These contributions are especially relevant to overtourism because they show that the issue is not only crowding, but also who is heard, who benefits, who is displaced and who is expected to absorb the costs of growth.

The resident-visitor relationship literature also deepens this critique. Cheung & Li (2019) show that deterioration in visitor-resident relations under overtourism can have long-term hysteresis effects and that resilience-building requires more than simple crowd management. Gössling et al. (2020) likewise demonstrate that overtourism must be understood through socio-psychological processes related to place change

and social stress. These studies help explain why overtourism governance cannot be reduced to visitor dispersal alone. The problem is relational and political, not merely quantitative.

Once justice is placed at the centre of analysis, the field's core question changes. The issue is no longer just how destinations can manage more tourism with fewer complaints. It becomes whether specific forms of tourism development are socially and ethically legitimate at all. This shift is decisive because it moves the literature away from damage control and toward normative evaluation. At the same time, justice-oriented governance should not be romanticised. Residents are not homogeneous, and their interests may diverge by class, tenure, ethnicity, occupation, age or dependence on tourism income. A justice perspective therefore requires careful attention to internal community differences rather than a simple opposition between "residents" and "tourists".

7. Degrowth, Post-Growth Possibilities and Practical Trade-Offs

The justice critique connects directly to a broader challenge in tourism studies: whether overtourism can be addressed within a growth-oriented paradigm at all. Fletcher et al. (2019) argue that tourism research must seriously engage with degrowth because many socio-ecological harms associated with rapid tourism expansion cannot be solved simply by making growth more efficient. Higgins-Desbiolles (2019) similarly calls for degrowing tourism and rethinking tourism in ways that prioritise local communities over the rights of tourists and capital. Gascón (2019) adds that treating tourism as a right can distort political debate by obscuring conflicts between the rights of travellers and the rights of residents.

These arguments matter because they reveal a structural contradiction in overtourism governance. Many policies seek to preserve destination attractiveness, tourism income and growth momentum while trimming the worst externalities of mass visitation. But if overtourism is generated by growth imperatives themselves, then the problem is not only poor management of growth; it is the social and ecological logic of growth as such. Degrowth scholarship therefore does not merely add another policy option. It reframes the overtourism debate at the level of political economy and moral vision.

However, post-growth or degrowth arguments also require nuance. Destinations differ in their dependence on tourism employment, fiscal revenue and small-business livelihoods. Restricting tourism volume may reduce ecological and social pressure, but it can also create distributive conflicts if costs fall disproportionately on workers, informal vendors or small enterprises rather than on large investors and platform intermediaries. Post-growth governance therefore cannot simply mean reducing numbers. It must ask who bears the burden of transition, what alternative livelihoods are available, how public revenue is replaced, and how decision-making legitimacy is secured. A more balanced approach recognises the necessity of limits while refusing to treat limits as a technically simple or socially neutral solution.

This does not mean that every destination should immediately adopt a strict degrowth agenda. It does mean, however, that overtourism scholarship should engage

more directly with differentiated limits, post-growth possibilities and the political difficulty of reducing tourism dependence. Without that engagement, the field remains trapped within a managerial sustainability orthodoxy that seeks to make growth less disruptive without questioning its underlying logic.

8. Resilience, Path Dependence and Configurational Thinking

Another major weakness of overtourism research lies in its reliance on implicitly linear causal thinking. Much of the literature assumes a simple sequence: tourist growth produces pressure, governance intervenes, and pressure is reduced. Yet destinations are not linear systems. Research on resilience and socio-ecological systems suggests that tourism destinations are shaped by feedback loops, thresholds and changing relationships among social, environmental and institutional variables. Cheung & Li (2019) explicitly frame overtourism through resilience, while Mihalič (2020) highlights socio-political and socio-psychological capacities as part of overtourism diagnosis.

Path dependence strengthens this critique. Ma and Hassink's (2014) study of Guilin shows that tourism development is historically sedimented through path creation, lock-in and attempted renewal. Destinations do not simply "become overtouristed" in a sudden, ahistorical way. Rather, they are often pushed into high-pressure situations through long-term policy choices, infrastructural commitments, branding strategies and institutional routines that normalise further growth.

The implication is methodological as well as theoretical. Similar overtourism outcomes may be produced by different combinations of factors. One destination may be overwhelmed by short-term rental growth and real-estate pressure; another by infrastructure-led mass domestic tourism; another by weak regulation combined with aggressive place branding; and another by the temporal synchronisation of public holidays and transport systems. This means that overtourism governance should be studied configurationally rather than through one-size-fits-all models. The relevant question is not which single variable matters most, but which combinations of institutional, market, social, spatial and ecological conditions generate tourism overload under different circumstances.

Configurational thinking is especially useful because it avoids two common simplifications. It avoids the managerial simplification that the same tools can be transferred across destinations with minor adjustment. It also avoids the critical simplification that all overtourism is reducible to the same logic of growth. Instead, it invites comparative research into different pathways: platform-led urban touristification, heritage-core congestion, infrastructure-driven mass mobility, island or mountain ecological overload, and state-led development lock-in. Each pathway may require a different governance response.

9. Beyond Anthropocentrism: Relational and More-than-Human Approaches

A further frontier in overtourism research lies in the treatment of nature and materiality. Much of the literature remains anthropocentric, treating destinations as spaces to be managed for human use and environmental degradation as an externality to be corrected after growth. Matteucci et al. (2022) challenge this logic by proposing a new materialist governance paradigm for tourism destinations. Their argument is that the Anthropocene requires destinations to be understood as assemblages of human and non-human relations, rather than as passive settings for economic activity.

This perspective is especially useful for overtourism because many affected destinations are ecologically fragile: island systems, mountain landscapes, coastal zones, heritage environments and blue-green urban infrastructures. Under a managerial paradigm, ecological stress is often treated as a matter of carrying capacity or better monitoring. Under a relational paradigm, however, environmental harm is not secondary. It is constitutive of the politics of tourism development itself. Pernecky (2024) likewise argues for a stronger relational turn in tourism studies, questioning whether tourism research has paid sufficient attention to the interdependencies through which tourism worlds are assembled and governed.

For China, this is highly relevant. Many iconic destinations are landscape-dependent and ecologically sensitive, yet they are simultaneously embedded in strong state-led development agendas. A relational and more-than-human perspective therefore helps move the analysis beyond stakeholder coordination toward a fuller recognition of landscape vulnerability, ecological limits and the material consequences of developmental tourism. It also strengthens the geographical orientation of the article by showing that overtourism is produced through relations among bodies, infrastructures, landscapes, mobility systems and administrative territories.

10. Why China Matters Theoretically

China should be treated as theoretically significant for overtourism research, not merely as an additional empirical setting. The Chinese case reveals that many assumptions embedded in Western overtourism governance literature, especially those centred on stakeholder equilibrium, collaborative adjustment and managerial calibration, are historically and institutionally contingent rather than universally applicable. Tourism development in China has long been closely shaped by the state through policy direction, infrastructural provision, investment stimulation, regulation, promotion and interdepartmental coordination, which means that tourism pressure is often embedded in broader developmental agendas rather than emerging simply from market failure or weak destination management (Qiu et al., 1999; Yan & Bramwell, 2008). In ethnic and heritage destinations, different levels of government frequently play distinct and unequal roles in regulating investment, production and representation, further complicating any simple expectation of balanced stakeholder participation (Yang et al., 2008).

China is also important because overtourism pressures are often intensified by the country's holiday system and mass domestic mobility. Research on China's holiday reform shows that the institutional design of public holidays has contributed to the excessive concentration of domestic tourism demand in particular periods, rather than distributing travel more evenly across the year (Shen et al., 2018). Related work on holiday travel further demonstrates that crowding is especially salient during Golden Week-type peak periods, when tourists' emotional responses and satisfaction are strongly shaped by congestion and density (Liu & Ma, 2019). This temporal concentration matters theoretically because it shows that overtourism in China is not only a spatial issue of overloaded destinations, but also a politically and institutionally produced problem of synchronised mobility.

A further reason China matters is that it highlights the need for a configurational rather than uniform understanding of overtourism. Chinese destinations do not all face the same pressures. In some heritage and politically symbolic destinations, hierarchical governance structures shape sustainability outcomes through both vertical tensions between levels of government and horizontal conflicts among local actors, as shown in research on red tourism (Wang et al., 2022). In some scenic mountain and World Heritage areas, governance outcomes vary significantly according to institutional arrangement and the extent of meaningful local participation, as evidenced by research in the Huangshan mountain area (Qian et al., 2016). In rapidly urbanising tourism cities, meanwhile, platformised accommodation has introduced another pressure configuration: short-term rental growth has become increasingly embedded in urban tourism space, linking tourism expansion to broader changes in housing, amenities and urban land use (Sun et al., 2021, 2022). These differences suggest that "the Chinese case" should not be treated as a single governance model, but as a set of distinct causal combinations through which tourism overload is produced.

The case of Guilin remains especially revealing because it captures the historical-institutional depth of the problem. Ma & Hassink (2014) show that Guilin's tourism development followed a path-dependent trajectory structured by contingent beginnings, resource endowments, institutional lock-in and later attempts at renewal. This is important because it complicates the idea that overtourism can be solved through better visitor redistribution or technical management tools alone. If tourism growth has already been sedimented through branding, infrastructure and long-standing development routines, then managerial interventions may soften symptoms without transforming the structural conditions that reproduce pressure. More broadly, scholarship on tourism resistance in China also reminds us that local communities are neither passive nor homogeneous; they negotiate, contest and sometimes resist tourism development in ways shaped by livelihood strategies, ethnicity and political position (Cornet, 2015). China therefore does not simply add geographical diversity to overtourism research. It exposes the incompleteness of a literature that too readily treats collaborative equilibrium as the normal condition of destination politics.

11. Toward a Configurational and Relational Governance Perspective

The foregoing discussion suggests that overtourism research must move beyond managerialism in four interconnected ways.

First, it must become configurational. Rather than searching for universal best practices, scholars should investigate how different combinations of state capacity, market structure, platform penetration, ecological fragility, resident mobilisation, spatial morphology, public-holiday systems and institutional path dependence produce overtourism under different conditions. This means treating destinations as complex causal assemblages rather than relying on linear relationships between visitor numbers and governance outcomes.

Second, overtourism governance must become relational. Destinations should not be understood simply as bounded containers of tourism activity, but as evolving constellations of residents, visitors, infrastructures, institutions, housing markets, mobility systems and ecological processes. A relational approach helps explain why overtourism cannot be captured adequately by crowding indicators alone. What matters is how tourism reorganises social and material life within place.

Third, overtourism governance must become spatially explicit. It should examine how pressure is produced across scales, from global platform economies and national holiday systems to municipal zoning, neighbourhood land use, heritage-site circulation and landscape vulnerability. Spatial governance is not simply a matter of mapping crowding; it is a matter of understanding how authority, mobility, investment and access are territorially organised.

Fourth, overtourism governance must become normatively explicit. Policies should not be judged only by whether they restore order, reduce crowding or maintain tourism revenues. They should also be assessed according to whether they advance justice, ecological viability and democratic legitimacy. In this sense, better crowd control is not enough if the underlying tourism model remains socially unequal and ecologically extractive.

As shown in Figure 1, this perspective links structural drivers and spatial-temporal conditions to configurations of overtourism pressure, while distinguishing between narrow managerial correction and broader relational governance pathways.

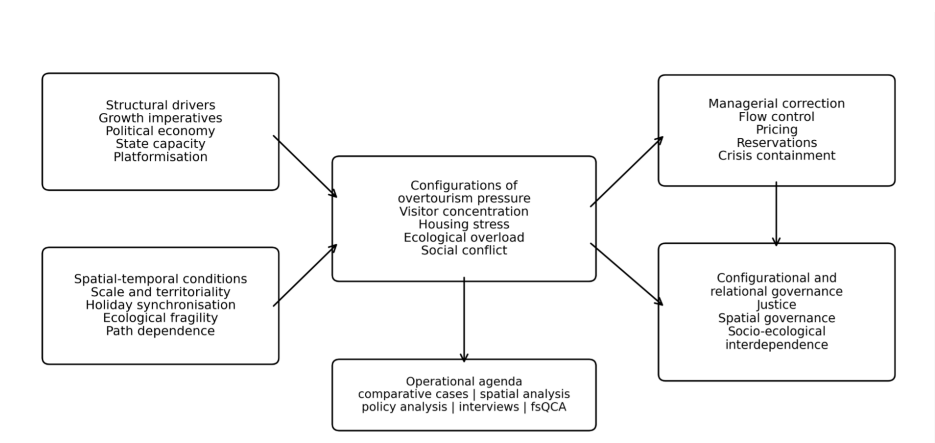


Figure 1. A configurational and relational governance perspective on overtourism. The model summarises how structural drivers and spatial-temporal conditions combine to produce specific configurations of overtourism pressure, which can be addressed either through narrow managerial correction or through a broader relational governance orientation.

The proposed perspective is not intended to replace practical management tools. Pricing, access restrictions, zoning, platform regulation, demarketing and visitor-flow monitoring may all remain necessary in particular contexts. The argument is that these instruments need to be embedded in a broader framework that addresses structural drivers, institutional lock-in, unequal rights to place and socio-ecological interdependence. Otherwise, overtourism governance risks becoming an increasingly sophisticated form of crisis containment rather than genuine transformation.

Operationally, this framework can guide empirical research in at least three ways. Comparative case studies can identify different pathways through which tourism pressure is produced. Spatial analysis can examine how crowding, housing pressure, transport bottlenecks and ecological vulnerability are distributed across territories. Configurational methods such as fuzzy-set Qualitative Comparative Analysis can test whether different combinations of governance capacity, market pressure, ecological sensitivity and resident mobilisation are associated with more or less severe overtourism outcomes. The framework therefore aims to be both conceptual and operational: it clarifies what should be studied and how future research might study it.

12. Conclusion

The overtourism literature has made a major contribution by drawing attention to the visible harms of excessive tourism growth. Yet its governance agenda remains strongly constrained by managerialism. The field has been more successful at diagnosing pressure than at theorising the developmental, institutional, geographical and political conditions that produce that pressure. As a result, many governance responses remain reactive, technocratic and normatively thin.

This review has identified four central weaknesses in the literature: linear and technical framings, weak attention to power and political economy, insufficient engagement with justice and ecological relationality, and limited sensitivity to non-

Western governance contexts. China is especially important because it concentrates these issues and demonstrates why overtourism theory must move beyond Western collaborative assumptions. The Chinese case highlights how state-led development, public-holiday synchronisation, infrastructure investment, spatial concentration, platformised accommodation and path-dependent destination development can combine to normalise tourism excess.

The future of overtourism research should therefore move from managerial correction to configurational explanation, from stakeholder rhetoric to political analysis, from destination containers to spatial governance, and from narrow sustainability metrics to a broader relational and justice-oriented governance framework. The most important question is no longer simply how destinations can manage excess more efficiently, but how they can transform the conditions under which excess becomes normal, profitable and politically acceptable.

Future studies should develop this agenda empirically. First, comparative research should examine different overtourism configurations across urban, heritage, island, mountain and rural destinations. Second, mixed-methods work should combine spatial data, policy analysis, resident and visitor surveys, interviews and platform data to connect visible crowding with deeper political-economic drivers. Third, China-focused studies should move beyond single-destination description and examine how administrative scale, fiscal incentives, holiday institutions, platform economies and ecological vulnerability interact across regions. Finally, future research should evaluate not only whether governance reduces visitor pressure, but whether it redistributes rights, responsibilities and benefits more justly. These directions would help transform overtourism governance from a problem of technical management into a field of critical, geographical and socio-ecological inquiry.

References

- Amore, A., & Hall, C. M. (2016). From governance to meta-governance in tourism? re-incorporating politics, interests and values in the analysis of tourism governance. *Tourism Recreation Research*, 41(2), 109–122. <https://doi.org/10.1080/02508281.2016.1151162>
- Ashworth, G., & Page, S. J. (2011). Urban tourism research: Recent progress and current paradoxes. *Tourism Management*, 32(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2010.02.002>
- Bramwell, B., & Lane, B. (2011). Critical research on the governance of tourism and sustainability. *Journal of Sustainable Tourism*, 19(4–5), 411–421. <https://doi.org/10.1080/09669582.2011.580586>
- Butler, R. W., & Dodds, R. (2022). Overcoming overtourism: A review of failure. *Tourism Review*, 77(1), 35–53. <https://doi.org/10.1108/TR-04-2021-0215>
- Camatti, N., Bertocchi, D., Carić, H., & van der Borg, J. (2020). A digital response system to mitigate overtourism: The case of dubrovnik. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 37(8–9), 887–901. <https://doi.org/10.1080/10548408.2020.1828230>
- Capocchi, A., Vallone, C., Amaduzzi, A., & Pierotti, M. (2020). Is “overtourism” a new issue in tourism development or just a new term for an already known phenomenon? *Current Issues in Tourism*, 23(18), 2235–2239. <https://doi.org/10.1080/13683500.2019.1638353>

- Cheung, K. S. W., & Li, L.-H. (2019). Understanding visitor-resident relations in overtourism: Developing resilience for sustainable tourism. *Journal of Sustainable Tourism*, 27(8), 1197–1216. <https://doi.org/10.1080/09669582.2019.1606815>
- Cornet, C. (2015). Tourism development and resistance in china. *Annals of Tourism Research*, 52, 29–43. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2015.02.002>
- Fletcher, R., Murray Mas, I., Blanco-Romero, A., & Blázquez-Salom, M. (2019). Tourism and degrowth: An emerging agenda for research and praxis. *Journal of Sustainable Tourism*, 27(12), 1745–1763. <https://doi.org/10.1080/09669582.2019.1679822>
- Gascón, J. (2019). Tourism as a right: A “frivolous claim” against degrowth? *Journal of Sustainable Tourism*, 27(12), 1825–1838. <https://doi.org/10.1080/09669582.2019.1666858>
- Gössling, S., McCabe, S., & Chen, N. C. (2020). A socio-psychological conceptualisation of overtourism. *Annals of Tourism Research*, 84, 102976. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2020.102976>
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), 91–108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Hall, C. M. (2011). A typology of governance and its implications for tourism policy analysis. *Journal of Sustainable Tourism*, 19(4–5), 437–457. <https://doi.org/10.1080/09669582.2011.570346>
- Higgins-Desbiolles, F. (2019). Degrowing tourism: Rethinking tourism. *Journal of Sustainable Tourism*, 27(12), 1926–1944. <https://doi.org/10.1080/09669582.2019.1601732>
- Jamal, T., & Camargo, B. A. (2014). Sustainable tourism, justice and an ethic of care: Toward the just destination. *Journal of Sustainable Tourism*, 22(1), 11–30. <https://doi.org/10.1080/09669582.2013.786084>
- Koens, K., Postma, A., & Papp, B. (2018). Is overtourism overused? understanding the impact of tourism in a city context. *Sustainability*, 10(12), 4384. <https://doi.org/10.3390/su10124384>
- Liu, A., & Ma, E. (2019). Travel during holidays in china: Crowding’s impacts on tourists’ positive and negative affect and satisfactions. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 41, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2019.09.008>
- Ma, M., & Hassink, R. (2014). Path dependence and tourism area development: The case of guilin, china. *Tourism Geographies*, 16(4), 580–597. <https://doi.org/10.1080/14616688.2014.925966>
- Matteucci, X., Nawijn, J., & von Zumbusch, J. (2022). A new materialist governance paradigm for tourism destinations. *Journal of Sustainable Tourism*, 30(1), 169–184. <https://doi.org/10.1080/09669582.2021.1924180>
- Mihalič, T. (2020). Conceptualising overtourism: A sustainability approach. *Annals of Tourism Research*, 84, 103025. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2020.103025>
- Mihalič, T., & Kuščer, K. (2021). Can overtourism be managed? destination management factors affecting residents’ quality of life. *Journal of Destination Marketing & Management*, 19, 100561. <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2020.100561>
- Mikulić, J., Vizek, M., Stojčić, N., Payne, J. E., Časni, A. Č., & Barbić, T. (2021). The effect of tourism activity on housing affordability. *Annals of Tourism Research*, 90, 103264. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2021.103264>
- Milano, C. (2024). Anti-tourism activism and the inconvenient truths about mass tourism, touristification and overtourism. *Tourism Geographies*, 26(8), 1313–1337. <https://doi.org/10.1080/14616688.2024.2391388>

- Milano, C., Novelli, M., & Cheer, J. M. (2019). Overtourism and tourismphobia: A journey through four decades of tourism development, planning and local concerns. *Tourism Planning & Development*, 16(4), 353–357. <https://doi.org/10.1080/21568316.2019.1599604>
- Minoia, P. (2022). Platform-mediated tourism: Social justice and urban governance before and during covid-19. *Journal of Sustainable Tourism*, 30(5), 951–965. <https://doi.org/10.1080/09669582.2021.1922426>
- Namberger, P., Jackisch, S., Schmude, J., & Karl, M. (2019). Overcrowding, overtourism and local level disturbance: How much can munich handle? *Tourism Planning & Development*, 16(4), 452–472. <https://doi.org/10.1080/21568316.2019.1595706>
- Pernecky, T. (2024). Advancing critico-relational inquiry: Is tourism studies ready for a relational turn? *Journal of Sustainable Tourism*, 32(6), 1201–1216. <https://doi.org/10.1080/09669582.2023.2211248>
- Qian, C., Sasaki, N., Shivakoti, G., & Zhang, Y. (2016). Effective governance in tourism development: An analysis of local perception in the huangshan mountain area. *Tourism Management Perspectives*, 20, 112–123. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2016.08.003>
- Qiu, H., Chong, K., & Ap, J. (1999). An analysis of tourism policy development in modern china. *Tourism Management*, 20(4), 471–485. [https://doi.org/10.1016/S0261-5177\(99\)00020-5](https://doi.org/10.1016/S0261-5177(99)00020-5)
- Rastegar, R. (2020). Tourism and justice: Rethinking the role of governments. *Annals of Tourism Research*, 85, 102884. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2020.102884>
- Rastegar, R., & Ruhanen, L. (2022). The injustices of rapid tourism growth: From recognition to restoration. *Annals of Tourism Research*, 97, 103504. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2022.103504>
- Sarantakou, E., & Terkenli, T. S. (2019). Non-institutionalized forms of tourism accommodation and overtourism impacts on the landscape: The case of santorini, greece. *Tourism Planning & Development*, 16(4), 411–433. <https://doi.org/10.1080/21568316.2019.1569122>
- Sheller, M., & Urry, J. (2006). The new mobilities paradigm. *Environment and Planning A*, 38(2), 207–226. <https://doi.org/10.1068/a37268>
- Shen, H., Wang, Q., Ye, C., & Liu, J. S. (2018). The evolution of holiday system in china and its influence on domestic tourism demand. *Journal of Tourism Futures*, 4(2), 139–151. <https://doi.org/10.1108/JTF-10-2016-0027>
- Smith, M. K., Sziva, I. P., & Olt, G. (2019). Overtourism and resident resistance in budapest. *Tourism Planning & Development*, 16(4), 376–392. <https://doi.org/10.1080/21568316.2019.1595705>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Sun, S., Wang, X., & Hu, M. (2022). Spatial distribution of airbnb and its influencing factors: A case study of suzhou, china. *Applied Geography*, 139, 102641. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102641>
- Sun, S., Zhang, S., & Wang, X. (2021). Characteristics and influencing factors of airbnb spatial distribution in china's rapid urbanization process: A case study of nanjing. *PLOS ONE*, 16(3), e0248647. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248647>
- Wang, H., Zhang, B., & Qiu, H. (2022). How a hierarchical governance structure influences cultural heritage destination sustainability: A context of red tourism in china. *Jour-*

- nal of Hospitality and Tourism Management*, 50, 421–432. <https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2022.02.002>
- Yan, H., & Bramwell, B. (2008). Cultural tourism, ceremony and the state in china. *Annals of Tourism Research*, 35(4), 969–989. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2008.09.004>
- Yang, L., Wall, G., & Smith, S. L. J. (2008). Ethnic tourism development: Chinese government perspectives. *Annals of Tourism Research*, 35(3), 751–771. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2008.06.005>

A sala de aula como território educativo para a paz e não-violência

The classroom as an educational territory for peace and nonviolence

Cristiane Prudenciano de Souza ^{*1} e Fátima Velez de Castro ^{**2}

¹Doutoranda em Estudos Contemporâneos / CEIS20, Universidade de Coimbra

²Universidade de Coimbra, Departamento de Geografia e Turismo, CEIS20, RISCOS

Resumo

Compreendendo a sala de aula como território educativo constantemente atravessado por relações, conexões, laços, vínculos e narrativas, o presente artigo tem o objetivo de revisar sobre as principais linhas epistemológicas da educação para paz e não-violência, em contexto escolar. Trata-se de uma revisão bibliográfica, que considera o conceito de território como categoria analítica, discutindo abordagens da educação para a paz e não-violência, com base nos elementos da memória e da justiça. O desenvolvimento do pensamento crítico, alicerçado nos princípios dos direitos humanos, a adoção de métodos não-violentos e a implementação de práticas específicas de intervenção nas realidades escolares, são algumas das linhas abordadas no decorrer do artigo. O conceito de “território” como categoria analítica, pode ser um contributo para uma educação para a paz e não-violência. Para tal, pretendemos explorar sua aplicação na escola e na sala de aula, refletindo nos modos de pensar e usar o conceito, buscando escapar das armadilhas de seu uso conceitual. Consideramos oportuno adotar a perspectiva do desenvolvimento da autoridade docente com a escuta ativa, contribuindo para construção de um espaço dialógico, capaz de elevar o processo educacional a uma esfera libertadora para os sujeitos que dela fazem parte.

Palavras-chave: Educação para Paz. Não-violência. Sala de Aula. Território. Território Educativo.

Abstract

Understanding the classroom as an educational territory constantly traversed by relationships, connections, ties, bonds, and narratives, this article aims to review the main epistemological lines of education for peace and nonviolence in the school context. It is a bibliographical review that considers the concept of territory as an analytical category, discussing approaches to education for peace and nonviolence based on the elements of memory and justice. Developing critical thinking based on the principles of human rights, adopting nonviolent methods, and implementing specific intervention practices in school realities are some of the lines addressed throughout the article. The concept of ‘territory’ as an analytical category can contribute to education for peace and nonviolence. To this end, we intend to explore its application at school and in the classroom, reflecting on ways of thinking about and using the concept, seeking to escape the pitfalls of its conceptual use. We consider it appropriate to adopt the perspective of developing teaching authority

Cadernos de
Geografia

doi: https://doi.org/10.14195/0871-1623_53_12

Recebido a:
23 de abril de 2025
Aprovado a:
7 de abril de 2026

*Email: cprudenciano@gmail.com

**Email: velezcastro@fl.uc.pt

through active listening, contributing to the construction of a dialogical space capable of elevating the educational process to a liberating sphere for the subjects involved in it.

Keywords: Peace Education. Nonviolence. Classroom. Territory. Educational Territory.

1. Introdução

A "paz" desponta como um objetivo amplamente compartilhado em sociedades democráticas, pelo que as narrativas que a fomentam, em especial aquelas focadas na construção de uma "cultura de paz", se tornaram indispensáveis. Estes contextos sociopolíticos favorecem valores como o direito de expressão, a tolerância, o respeito pelas diferenças, a igualdade, a justiça social, a memória, o perdão e a reconciliação.

A importância da educação para a paz, através da não-violência, com o respeito pelos direitos humanos, intensifica-se na atualidade, mediante a necessidade do enfrentamento da violência quotidiana e da crueldade da guerra, assim como pela gradual decomposição de valores essenciais, como o diálogo, a empatia, a solidariedade e a cooperação.

Nesse sentido, a escola possui um papel socializador inegável, no qual adquirimos habilidades essenciais, como aprender a ler, escrever, conviver com as diferenças e respeitar a diversidade. Nos espaços educativos, como a sala de aula, podemos cultivar "um novo tipo de cultura, a cultura de paz, que ajude as pessoas a entender criticamente a realidade, desigual, violenta, complexa e conflituosa, para poder ter uma atitude e uma ação diante dela" (Jares, 2007, pp. 44–45).

A escola transcende a definição de um edifício que dispõe de vários âmbitos, dentre eles, a sala de aula. Nela, estimula-se a aprendizagem, a partilha e o relacionamento humano, tornando-se "(...) [n]um dispositivo de inscrição de experiências e gerador de relações que são uma parte estruturante dos mecanismos pelos quais o espaço social se articula, (...)” (Ospina Mesa et al., 2021, p. 17).

Compreendendo a sala de aula como um território educativo em constante evolução, atravessado por relações, conexões, laços, vínculos e narrativas entrelaçadas, o presente artigo tem como objetivo refletir sobre as principais linhas epistemológicas da educação para a paz e não-violência em contexto escolar. Será explorado o conceito de "território" como categoria analítica, considerando-se como um possível contributo para uma educação para a paz e não-violência, pelo que objetivamos abordar a importância da sala de aula como um território educativo. Para tal, pretendemos explorar sua aplicação no espaço da escola, buscando escapar das armadilhas de seu uso conceitual, como a desistoricização, desmaterialização e destituição de conexão com seu uso prático (Haesbaert, 2016).

Objetivamos também:

1. Apresentar os princípios e abordagens da educação para paz, que contemplem a memória e a justiça, que apontem para a compreensão do passado e do presente, para o desenvolvimento do pensamento crítico, para a aquisição de métodos de reflexão não-violentos e práticas de ação concreta sobre a realidade escolar.
-

2. Apontar os atuais desafios e dilemas em relação à educação para a paz e não-violência no contexto escolar.
3. Analisar a escola e a sala de aula enquanto território educativo, discutindo estratégias de ensino e aprendizagem que promovam valores como respeito mútuo, diálogo e resolução pacífica de conflitos.

Sabendo que a sala de aula contempla relações de poder (Haesbaert, 2011), consideramos oportuno adotar a perspectiva do desenvolvimento da autoridade docente de maneira coerente, com a escuta ativa, contribuindo para construção de um espaço dialógico, capaz elevar o processo educacional a uma esfera libertadora para os sujeitos que dela fazem parte (Freire, 1993).

Trata-se de um artigo de natureza exploratória e analítica, pelo que será abordado, de forma reflexiva, um conjunto de referências bibliográficas de base para a temática em causa. Embora se trate de um estudo transversal a várias áreas do saber, considera-se que tem importância para a formação inicial e contínua de Professoras/es de Geografia, por complementar a abordagem dos conteúdos da disciplina de “Cidadania e Desenvolvimento”¹, no Ensino Básico e Secundário, que muitas vezes é lecionada por docentes do grupo 420². O domínio terminológico na área da paz e da não-violência, facilitará a abordagem dos temas/conhecimentos, capacidades e atitudes: “Diretos Humanos”/praticar a escuta ativa; “Democracia e Instituições Políticas”/refletir, criticamente, sobre desafios atuais da democracia, entre os quais a pobreza e a exclusão social, o discurso de ódio, a corrupção, e a desigualdade de género, entre outros); “Pluralismo e Diversidade Cultural”/ Reconhecer o papel do diálogo intercultural e do pluralismo na coesão de sociedades culturalmente diversas.

2. Conceito de território: evitando armadilhas

O conceito de território tem sido escolhido por Geógrafas/os para compreender nosso mundo, tanto para perceber as causas e tendências da circulação de pessoas, informações e bens, que geram mobilidade e instabilidade, quanto para compreender criticamente a complexidade das políticas e ideologias que influenciam os movimentos, processos e as escalas.

Em Portugal, a disciplina de Geografia tem contribuído para a discussão do significado de “território”, de uma forma transversal, já que se trata de um termo central inerente à própria ciência. No currículo do 11º ano³, os módulos 3 (Os Espaços Organizados Pela População) e 4 (A População, Como Se Movimenta e Comunica) há um aprofundamento da reflexão sobre o conceito em causa, no que respeita à rela-

¹ Aprendizagens Essenciais de “Cidadania e Desenvolvimento”, disponíveis em https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens_Essenciais/cidadania-desenvolvimento.pdf (acedido em 23/03/2026).

² Grupos disciplinares em Portugal, disponível em https://www.dgae.medu.pt/download/gestrechumanos/pessoal_docente/qualificacoes/profissional/20180808_grh_QualProfGuia_GrupoRecrutamento.pdf (acedido em 23/03/2026).

³ Disponível em https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Programas/geografia_a_10_11.pdf (acedido em 23/03/2026).

ção multidimensional da(s) espacialidade(s) com as relações de poder e as atividades socioeconômicas desenvolvidas.

O geógrafo Rogério Haesbaert (2016) relata que o conceito acabou sendo sobrevalorizado, pelo menos nas denominadas Geografias latinas, as Geografias produzidas nos países de línguas neolatinas (da Itália à França, da Espanha e Portugal à América Latina). É certo que o conceito tem despertado interesse nas ciências sociais, que “há muito vem dando destaque à dimensão espacial como contribuinte indissociável dos processos de constituição da sociedade” (Haesbaert, 2016, p. 16).

Como aponta Saquet (2015), o conceito de território está relacionado com a produção e reprodução do espaço (movimento), a produção-troca-consumo do espaço (processualidades) e fluxos, redes, hierarquias, centros e periferias (multiescalaridade). Silva et al. (2016) que refletem sobre os modos de pensar e usar o conceito de território, buscando explicar o processo de produção e os rumos da sociedade, entretanto alertam para a importância de seguir premissas fundamentais para não usá-lo de maneira equivocada.

De modo geral, as armadilhas associadas a este conceito, inserem-se nos grandes debates científicos/filosóficos dualistas: espaço e tempo, sujeito e objeto, material e simbólico, teoria e prática e das concepções de poder, relações de poder, poder político-econômico de corporações ou do Estado. Fernandes Trigo e Sposito (2016) defendem que a dimensão conceitual e etimológica envolve uma estreita relação entre a “terra” e as relações de poder estabelecidas, do ponto de vista social, que podem ser de caráter funcional, simbólico, espacial. Nesta linha de ideias, Haesbaert (2016) também parte do pressuposto que “discutir a sociedade pelo território é encarar como questão básica a construção de relações de poder pelo espaço”. Como projeção espacial de relações de poder, o território “não pode ser jamais compreendido e investigado (sua origem e as causas de suas transformações) sem que o aspecto material do espaço social seja devidamente considerado” (Souza, 2008, p. 64).

Haesbaert (2016) descreve as ciladas ao trabalhar-se com o conceito, sendo a primeira delas igualar o território ao espaço, como se fosse o mesmo, o que pode conceder ao território uma amplitude capaz de confundir-se com a própria categoria de espaço. Abaixo, estão outras armadilhas elencadas por este autor, dignas de atenção ao abordar o conceito território:

- Desistoricização – a Geografia se molda pela historicidade que a envolve e o território está inserido num momento histórico, portanto não deve ser naturalizado como um conceito sem tempo histórico definido;
- Desmaterialização – quando se aborda o território como se pudesse ser concebido sem uma base material;
- Destituição de conexão com seu uso prático – quando o uso do conceito se transforma em uma categoria analítica, fruto de elaboração intelectual, sem diálogo com seu uso concreto;
- Território do poder [apenas] Estatal – quando se reduz o território a uma única escala geográfica e a uma única modalidade de poder.

Observamos a complexidade inerente ao conceito de território, considerando suas nuances e potenciais armadilhas, percebendo os conceitos não como meras denominações, mas como ferramentas para a reavaliação e transformação do mundo.

Nos próximos tópicos, abordaremos território educativo, destacando a educação para a paz e a não-violência, a importância da memória e da justiça como componentes essenciais nesse contexto e evidenciando os desafios e dilemas atuais. Por fim, dedicaremos nossa atenção à sala de aula como um território educativo para a paz e a não-violência, onde é possível contribuir para construção de um espaço dialógico, compassivo e mediador de conflitos.

3. Território educativo: uma via de dois sentidos

Compreender que a definição de território vai além do espaço físico, auxilia o entendimento de uma realidade complexa na qual não só as características físicas assumem relevância. As dimensões humanas, históricas, sociais e culturais estão nessa complexidade, numa dinâmica interação.

Dessa forma, é possível perceber que a sala de aula transcende a concepção tradicional de mero local físico onde professores e estudantes estão inseridos, relacionando-se com base em normas e regimentos escolares. Configura-se como um ambiente de fluxo contínuo de conhecimento, interações sociais e experiências compartilhadas, onde vários desafios e riscos são enfrentados quotidianamente. A este propósito, refira-se que, no caso português, é reconhecido o papel do “Programa Territórios Educativos de Intervenção Prioritária” (TEIP), cujo objetivo é o de estabelecer modelos escolares adequados a comunidades escolares vulneráveis, que residem em áreas de risco social de pobreza e violência, com vista ao combate ao insucesso e ao abandono escolar (Dias, 2012; Ferreira & Teixeira, 2010).

Portanto, quando falamos de território educativo, nos ancoramos num conceito que aborda o resgate da memória e da história local, da comunidade e da paisagem, num esforço de compreender o contexto e a identidade daquele território, na tentativa de perceber a escala de pertencimento, a apropriação dos espaços e o significado deles pelas pessoas. Mónica (2014) destaca a importância da dimensão humana da escola, indo além daquele que é o espaço físico e a própria dimensão tecnológica.

Como sabemos, a escola não está apartada do seu entorno. Pelo contrário, o que ocorre nas ruas, nas praças dos bairros, nos grafites dos muros, nas paisagens naturais e culturais, o impacto que isso gera nas pessoas e na comunidade, devem ser elementos problematizados em sala de aula. Como Freire (1996) observa, existe um caráter testemunhal nos espaços – que são tristemente negligenciados – e, uma necessidade de reconhecer as experiências trazidas do entorno circundante dos muros da escola para dentro da sala de aula como contribuições significativas que auxiliam e moldam a vida escolar.

Se estivesse claro para nós que foi aprendendo que aprendemos ser possível ensinar, teríamos entendido com facilidade a importância das experiências informais nas ruas, nas praças, no trabalho, nas salas de aula das escolas, nos pátios dos recreios, em que variados gestos de alunos,

de pessoal administrativo, de pessoal docente se cruzam cheios de significação (Freire, 1996, p. 50).

Conforme Azevedo et al. (2020) defende, é fundamental reiterar que o conhecimento adquirido na escola não abarca o conjunto de saberes necessários para a construção da cidadania e a participação na sociedade. O movimento capaz de “ultrapassar o muro da escola terá início a partir da identificação das principais carências do bairro, além de suas potencialidades e oportunidades (...)” (Azevedo et al., 2020, p. 113).

Entretanto, é possível escutar a voz daqueles que vêm à escola, porque trazem para dentro dela um mundo repleto em vivências e saberes que podem ser trabalhados em sala de aula, construindo a escola “como um espaço de ensino-aprendizagem será então um centro de debates de ideias, soluções, reflexões, onde a organização popular vai sistematizando sua própria experiência” (Freire, 1991, p. 16).

Para Beatriz Goulart de Faria (2012) o território educativo é, necessariamente, uma conjunção de forças múltiplas, como um movimento em dois sentidos: por um lado, a escola se abre para a cidade; por outro, a cidade entra efetivamente na escola. Significa que neste processo está envolvido o espaço físico, o currículo, a formação inicial e contínua docente, assim como a gestão intersectorial. Portanto, “nos Territórios Educativos, as diferentes políticas, espaços, tempos e atores são compreendidos como agentes pedagógicos, capazes de apoiar o desenvolvimento de todo potencial humano” (Azevedo et al., 2016, p. 15).

Como contraponto, observamos o modelo panóptico, descrito por Foucault (2007), que representa uma estrutura de ordenamento do espaço escolar baseada em ideias de cerceamento e contenção, de controle e docilização, inteiramente oposto ao conceito de território educativo. Nesse sentido, abordar o território educativo não representa o culto à passividade e ao controle. Pelo contrário, propõe um movimento contínuo de abertura à complexidade do que acontece fora da escola, trazendo-a para dentro dela e, conseqüentemente, para a sala de aula. Consiste, portanto, em conduzir a responsabilidade de trabalhar os conhecimentos observados e vivenciados no território, através do diálogo, do acolhimento das dúvidas, oferecendo reflexões de dimensão espacial, política e social, através de aprendizagens que sejam significativas.

4. Educação para paz e não-violência: principais escolas e documentos fundamentais

Investigadoras/es, filósofas/os, pedagogas/os, sociólogas/os, ativistas e outras/os intelectuais, não apenas compartilharam a visão da paz como um princípio universal, mas também se dedicaram com afinco à elaboração e contribuição de diversas correntes de pensamento voltadas para essa aspiração. Conforme Jares (1999), a evolução da Educação para a Paz pode ser observada através de cinco escolas principais: Escola Nova, Escola da Não-Violência, Escola Moderna, UNESCO e Escola de Investigação sobre Paz e Conflito.

Quadro 1. Escolas Educação para a Paz

Escola	Descrição/Objetivos	Principais pensadores
Escola Nova (1919–1930)	Primeira rede internacional de experiências que promoviam a convivência harmônica e mentes críticas, abordando os principais problemas sociais e promovendo a transformação da escola militarizada.	Maria Montessori, Pierre Bovet e Pere Bocelló.
Não-Violência (desde 1919)	A corrente tem como princípios fundamentais: “Firmness in truth” (firmeza na verdade) e “nonviolent action” (ação não violenta). Desenvolveu e aplicou técnicas da não-cooperação e a desobediência civil. Abordou a autoconfiança, a disposição de ajudar os outros livremente e a objeção de consciência eram ensinadas.	Gandhi, Luther King, Bhavé Vinoba, Joseph J. Lanza del Vasto, Jacques Sémelin, Lorenzo Milani, Danilo Dolci e Aldo Capitini.
Escola Moderna (1928–1980)	Tem como principais eixos a cooperação, a integração, a aceitação da diversidade e a internacionalização. O objetivo da educação é reduzir a desigualdade e gerar mudanças sociais, econômicas e políticas.	Célestine Freinet, Georges Prevot e Bruno Ciari.
UNESCO (desde 1960)	Estabeleceu um sistema de Escolas Associadas globalmente. Sua missão é promover a compreensão e a tolerância entre as nações, assegurando a liberdade individual e o respeito aos direitos humanos. Além disso, o programa incorpora a Educação para o Desarmamento e a Educação Ambiental, princípios fundamentados pela própria UNESCO.	UNESCO.
Escola de Investigação sobre Paz e Conflito (desde 1964)	Realiza uma análise epistemológica das metodologias existentes, ampliando o conceito paz com as abordagens Paz Negativa e Paz Positiva. Desenvolve estratégias para a resolução e transformação de conflitos.	Paulo Freire, Kennet Boulding, Johan Galtung, John Dewey, John P. Lederach e Francisco Muñoz.

Fonte: Jares (1999).

Sobre o Princípio da Não-Violência, Jean Muller (2007) defende a exigência de procurar uma maneira não violenta de agir eficazmente contra a violência. Para tanto, é necessária a compreensão de que a educação se torna um instrumento hábil a combater todas as espécies de violência. Segundo Almeida (2002), a ação não violenta traduz-se no diálogo, na reflexão, no raciocínio, com o auxílio de fundamentações, defendendo aquilo que se considera como verdadeiro, constituindo um comportamento não violento.

Ao abordarmos a Educação para a Paz e Não-Violência, resgatamos o legado de pensadoras/es sobre o tema, destacando que a temática se solidifica e prevalece por meio de avanços em direção à justiça social, à igualdade de direitos e oportunidades, à democracia e ao pensamento crítico, assim como pela prática ativa da ação não violenta.

Nesse sentido, salientamos a importância de documentos e resoluções fundamentais, como a Declaração Universal de Direitos Humanos (1945), a Declaração e Plano de Ação Integrado sobre a Educação para a Paz, os Direitos Humanos e a Democracia, originados na 44ª sessão da Conferência Internacional sobre Educação (outubro de 1994) e aprovados pela Conferência Geral da UNESCO (novembro de 1995) e a Declaração e Programa de Ação sobre uma Cultura de Paz – Resolução

53/243 (6 de outubro de 1999) que conta com medidas⁴ para promover uma cultura de paz por meio da educação. A Declaração e o Programa de Ação para a Cultura da Paz foram aprovados por unanimidade pelos Estados membros da ONU, sublinhando a necessidade de uma convergência de políticas e de medidas para promover uma cultura de paz.

Esses documentos estabelecem, de forma clara, medidas a serem adotadas por todos os agentes relevantes nos âmbitos nacional, regional e internacional, para promover uma Cultura de Paz através da educação. Destacam a importância do total respeito e da promoção de todos os direitos humanos e liberdades fundamentais, o compromisso com a resolução pacífica dos conflitos e os esforços para atender às necessidades de desenvolvimento e proteção do ambiente para as gerações presentes e futuras.

Portanto, ao refletirmos sobre uma educação que contribui para uma cultura de paz – ou seja, uma educação para a paz e não-violência – referimo-nos a esse amplo conjunto de valores, atitudes, tradições, comportamentos e estilos de vida, traduzidos em ações concretas.

5. Dilemas e desafios: contradições existentes

Educar para a paz, utilizando métodos não violentos, implica explorar temáticas e questões complexas com um enfoque crítico, profundo e comprometido com a realidade que compartilhamos e condizente ao tempo histórico em que estamos inseridos.

Desta forma, torna-se oportuno destacar que a educação para a paz é muitas vezes tratada como uma questão periférica, embora seja um componente transversalmente utilizado em muitos currículos de vários países. Como um jogo de luz e sombras, é considerado um tema necessário, porém secundário; importante, mas não fundamental. Sem ser devidamente nomeada, por consequência, torna-se negligenciada. Assim, trata-se de um tema curricular de indiscutível relevância sem ser, de facto, prioritário.

Nesse sentido, apesar dos avanços e de estar inserida no discurso educativo, a educação para a paz nem sempre é devidamente utilizada como ancoragem epistemológica. Tal ausência demonstra que existe um caminho a ser percorrido e a contradição entre discurso e prática revela uma lacuna significativa, digna de reflexão e atitudes coerentes para a sua resolução.

A necessidade de alinhamento entre a palavra e a ação, reflete o que Milton Santos (1994) destaca ao mencionar que vivemos numa era que exige um discurso fundamental para compreender tanto os objetos quanto as ações, pois “diante de nós, temos, hoje, possível (e frequente), com a falsificação do evento, o triunfo da apresentação sobre a significação, ainda que reclamando uma ancoragem” (Santos, 1994, p. 21).

⁴ A Resolução A/53/243, dividida em A/53/243a e A/53/243b. A primeira descreve um conjunto de valores, atitudes, tradições, comportamentos baseados em valores como o respeito pela vida, o fim da violência e a promoção e prática da não-violência, através da educação, do diálogo e da cooperação. A segunda estabelece medidas para promover uma cultura de paz a nível local, regional e nacional.

Almeida (2002) relata que, segundo a perspectiva pacifista, o mundo está em crise fundamentada na agressão do ser humano consigo mesmo, para com outros e para com a natureza. A educação para a paz poderia constituir uma resposta a esta crise, pois sua finalidade “consistirá em alcançar a paz do homem consigo mesmo, com seus semelhantes e com o meio ambiente” (Almeida, 2002, p. 113).

Galtung (1997) ressalta que a educação deve articular-se desde uma ampla perspectiva que inclui o estudo, a investigação e a resolução dos conflitos por via pacífica, como objetivos fundamentais. A violência estrutural é derivada dos conflitos resultantes da desigualdade de poder e da injustiça social. Como a violência não é inerente ao ser humano⁵, mas produto de sua cultura, existe a necessidade da formulação e do aprendizado da convivência pacífica, por meio de uma educação para a paz.

6. Memória e justiça: a compreensão do passado e do presente

Fortalecer a verdade e a justiça tem um papel imprescindível no estudo e compreensão dos acontecimentos passados, em especial aqueles marcados por conflitos e violência. Ao reconhecer as violações dos direitos humanos, podemos aprender com os erros do passado, atuar conscientemente no presente para construir um futuro não-violento.

Porque educar ‘en y para’ la memoria histórica – en búsqueda de la verdad de los hechos del pasado reciente es sólo posible desde un enfoque crítico, profundo y responsable sobre la actualidad que compartimos y la época histórica en que nos há tocado actuar (Cabezudo, 2020, p. 544).

No campo da memória histórica, é essencial reconhecer o sofrimento humano, compreender o contexto entre as partes, desvelar as verdades sobre o ocorrido como elementos essenciais. Segundo Amaya et al (2023), de maneira geral, o perdão representa uma maneira de reconfigurar nosso relacionamento com o passado. Portanto, o perdão e a memória estão intrinsecamente ligados, sendo essa conexão crucial para compreender o motivo para que o perdão desempenhe um papel tão importante no processo de reconciliação. Nesse sentido, “é através da conexão com a memória que o perdão pode resultar nas profundas mudanças culturais necessárias para a reconciliação e pode atender a alguns requisitos básicos de justiça” (Amaya et al., 2023, p. 4).

Para Cabezudo (2020) a paz, a justiça e a solidariedade devem tornar-se objetivos a atingir a partir da estrutura supra-política e os conteúdos curriculares do sistema educativo devem refleti-los. Nesta perspectiva, compete-nos “construir melhores democracias através da organização de estratégias educativas que reforcem a educação para a paz, para os direitos humanos e para a reflexão sobre a memória histórica” (Cabezudo, 2020, p. 546).

⁵ Em 1986, a Unesco convocou uma conferência na cidade de Sevilha, na Espanha, reunindo diversos especialistas para enfrentar a utilização da biologia como justificativa para a violência e a guerra. Como resultado desses estudos, foi elaborado o documento sobre a violência intitulado como “Manifesto de Sevilha”, que declara que a violência é um produto da cultura. Manifesto de Sevilha – Disponível a 02/05/2024 em https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000094314_spa

No contexto da escola, existe a experiência dos “círculos restaurativos”, que têm como objetivo reunir em seus encontros as partes diretamente e indiretamente envolvidas pelo conflito, buscando rememorar o ocorrido, reparar danos, restaurar relações, construir coletivamente mecanismos de justiça e reconciliação, reconectando todos envolvidos na comunidade escolar. Os círculos restaurativos caracterizam-se por três etapas após o acontecimento de um conflito considerado grave: o pré-círculo (convidar e assegurar que os participantes querem realmente participar do círculo de maneira espontânea), o círculo (reunião em formato circular com ofensor e a vítima, seus familiares, membros da comunidade escolar com a presença de um/a mediador/a) e o pós-círculo (monitoramento e avaliação sobre o plano construído no círculo para reparação ao dano ocorrido e reintegração dos envolvidos na comunidade escolar)⁶. Balaguer (2014) defende que a dimensão positiva “das intervenções restaurativas nos conflitos escolares se deve justamente a sua capacidade de produzir um enfrentamento coletivo da dor, por meio de seu reconhecimento, ao invés de negar os conflitos ou ignorá-los”.

Na sociedade, também é importante criar espaços para o diálogo, a reconciliação e a reparação⁷, confrontando o passado, enfrentando a verdade e construindo coletivamente sociedades mais pacíficas, humanizadas para as gerações futuras. Isso envolve responsabilizar os culpados por crimes e abusos, garantindo que não haja amnistia ou impunidade para aqueles que cometeram atos de violência. Em contrapartida, oferecer subsídios necessários para que aqueles que cometeram tais violências não repitam seus atos, contribuindo para uma direção transformadora.

7. A sala de aula como território educativo para a paz e não-violência

Consideramos que, a escola é um território de base material, que está inserido num momento histórico, instituído como categoria prática que contempla relações de poder. Sabendo que a escola não pode estar distanciada do que acontece no município e na sociedade, e percebendo que a sala de aula é um âmbito de interações sociais e experiências compartilhadas, apresentaremos abordagens da educação para paz e não-violência, com base nos elementos da memória e da justiça.

Através de processos educativos, é possível problematizar sobre tolerância, respeito, diferenças, igualdade, democracia, direitos e deveres, memória, justiça social, perdão e reconciliação. Refere-se a práticas educativas que estimulem o desenvolvimento do pensamento crítico, embasado nos princípios dos direitos humanos, em que se considera a sala de aula como território educativo para a paz e não-violência.

⁶ Cada fase envolve ações que permitem ouvir as necessidades dos envolvidos e identificar maneiras de atendê-las. A participação de um mediador/a ou facilitador/a é essencial, cujo papel não é julgar quem está certo/a ou errado/a e distribuir punições. Em vez disso, a mediação deve estar atenta aos elementos objetivos e subjetivos das necessidades dos envolvidos no processo para que a violência não se repita.

⁷ Como por exemplo a Comissão Verdade e Reconciliação, que em 1995, foi liderada Desmond Tutu (1931-2021), arcebispo anglicano da África do Sul, à convite de Nelson Mandela (1918-2013). Foi criada para analisar as violações de direitos humanos cometidas durante o regime apartheid (legislação que segregava os negros na África do Sul).

Quando abordamos a paz e não-violência, é importante frisar que não se trata de uma fórmula mágica, ou seja, é necessária uma formação inicial e contínua de professoras/es que estende a outros atores da escola, até porque “não é uma tarefa fácil; pode até provocar oposição e novos conflitos. Também não há qualquer certeza ou garantia de que terá efeitos positivos visíveis a curto prazo” (Iglesias, 2008). Abaixo listamos algumas de práticas educativas que possam auxiliar na construção da sala de aula como território educativo para a paz e não-violência:

- Necessidade de criação de um plano de convivência em sala de aula, discutido coletiva-mente e aprovado pelo corpo discente e docente. O respeito é considerado como uma qualidade básica e imprescindível, que fundamenta a convivência democrática em um plano de igualdade e contém implícita a ideia de dignidade humana (Jares, 2008). Trata-se de modelo geral de abordagem educativa, de abordagem preventiva do problema da violência, reduzindo ao máximo o estilo punitivo e culpabilizante (Iglesias, 2008). O plano pode ser revisitado e modificado quando necessário;
- Levantar os temas comuns ao território da escola e aos grupos sociais da região problematizando os conflitos de múltiplas origens que circundam a escola e outras questões relacionadas com as violências observadas, como a desigualdade social, o problema da habitação precária, a violência doméstica, a violência contra LGBTQIA+, o abandono de crianças, pessoas em situação de rua, a situação dos refugiados e migrantes entre outros;
- Realizar visitas guiadas, para além dos muros da escola, explorando o território, os equipamentos culturais, as associações do bairro, mapeando os equipamentos públicos acessíveis, observando a paisagem, os grafites, as praças, as pessoas, e também resgatando a memória e a história local;
- Contribuir com a visibilidade e autonomia dos atores sociais que compõem as relações entre escola-cidade, reconhecendo-os como sujeitos de direitos à cidade, resgatando a vitalidade da cidade e do espaço público, a partir do reconhecimento das oportunidades educativas dos territórios (Azevedo et al., 2020);
- Trazer os elementos vivenciados nas visitas para a sala de aula para problematizá-los, discutindo sobre as relações de poder que circundam o território da escola, adotando a perspectiva do desenvolvimento da autoridade docente com a escuta ativa, contribuindo para construção de um espaço dialógico (Freire, 1993);
- Estudar e analisar o território visando a consciencialização das características do mundo em que vivemos e a procura de alternativas de mudança através da participação individual e social para a construção de um mundo melhor (Cabezudo, 2020).

Num processo contínuo, tal aprendizagem pode (e deve) transcender os limites da escola, desempenhando um papel crucial na sensibilização e no aprimoramento das relações humanas por meio do diálogo e da participação coletiva em atividades

pedagógicas socialmente relevantes e construtivas. A sala de aula como território educativo para paz e não-violência consiste em atividades pedagógicas que não somente fazem refletir ou conscientizar, mas também estimulam uma participação coletiva, significativa em ações que visam transformar positivamente a sociedade.

8. Conclusão

Tendo em conta a escola enquanto território, é visível que a espacialização das relações de poder pode constituir um campo complexo em termos de relações sociais. É aí que, por excelência, as crianças e as/os jovens passam uma parte significativa dos seus anos iniciais de formação, enquanto indivíduos e como futuros cidadãos ativos de um mundo VICA – volátil, incerto, complexo e ambíguo.

Nesse sentido, é essencial pensar a sala de aula como território educativo para a paz e não-violência, através de processos educativos que coloquem a tónica na tolerância, no respeito pelas diferenças, na igualdade, na democracia, nos direitos e deveres, na memória, na justiça social, no perdão e na reconciliação. Enquadrada numa realidade social, económica e cultural específica, a escola é um território que reflete o meio, pelo que há necessidade que se compreenda o presente, mas também se valorizem as memórias que derivam do passado.

Apresentámos práticas educativas que extrapolam os muros escolares, numa lógica multiescalar, que vai do grupo à sociedade, da sala de aula ao mundo, procurando enfatizar a importância do diálogo, da escuta ativa e do espírito crítico, como mediadores de uma educação para a paz e não-violência.

Apesar da relevância das reflexões apresentadas, reconhecemos que o artigo possui limitações. Aspetos como uma análise mais aprofundada das dinâmicas territoriais da escola ou das correntes educação para a paz poderiam ter sido mais exploradas. No entanto, optou-se por manter o foco nos objetivos propostos, centrados na exposição da escola como território educativo para a paz e a não-violência, sem excluir que futuras investigações aprofundem os temas abordados.

Apoio

Este trabalho é financiado pela FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito do projeto UIDB/00460/2020 – Bolsa de Investigação com a referência UI/BD/154958/2023 e do projeto UID/00460/2025 – <https://doi.org/10.54499/UID/00460/2025>

Bibliografia

- Almeida, M. E. M. (2002). *A Educação para a Paz*. Paulinas.
- Amaya, S., Abitbol, P., & Allais, L. (2023). Perdão e memória: oportunidades de reconciliação. Uma introdução. *Revista de Estudos Sociais*, 86, 3–12. <https://doi.org/10.7440/res86.2023.01>
- Azevedo, G. A. N., Rheingantz, P. A., & Costa, R. N. (2016). Educação integral e território educativo: diálogos possíveis em um coletivo complexo. Em G. A. N. Azevedo, V. R. Tângari & P. A. Rheingantz (Ed.), *Do espaço escolar ao território educativo: o lugar da arquitetura na conversa da escola de educação integral com a cidade* (pp. 17–27). UFRJ/FAU/PROARQ.
- Azevedo, G. A. N., Tângari, V. R., & Flandes, A. (2020). O habitar das infâncias na cidade: territórios educativos como uma forma de resistência. *Desidades*, (28), 111–126. <https://revistas.ufrj.br/index.php/desidades/article/view/40425>
- Balaguer, G. (2014). As práticas restaurativas e suas possibilidades na escola: primeiras aproximações. *Revista Subjetividades*, 14(2), 266–275. <https://doi.org/10.5020/23590777.14.2.266-275>
- Cabezudo, A. (2020). Pedagogia para a Cultura de Paz, Cidadania e Direitos Humanos: uma construção que apela à Memória e à Justiça. *Revista Educar Mais*, 4(3), 542–552. <https://doi.org/10.15536/reducarmais.4.2020.1943>
- Dias, C. (2012). *Território de Intervenção Educativa Prioritária. Estudo de Caso* [Dissertação de Mestrado em Organização e Gestão Escolar]. Universidade Católica do Porto.
- Ferreira, I., & Teixeira, A. R. (2010). Territórios Educativos de Intervenção Prioritária. *Revista do Departamento de Sociologia da FLUP*, 20, 331–350.
- Foucault, M. (2007). *Vigiar e Punir*. Vozes.
- Freire, P. (1991). *A educação na cidade*. Cortez.
- Freire, P. (1993). *Política e Educação: Ensaios*. Cortez.
- Galtung, J. (1997). Manual para o treinamento de Programas das NAÇÕES UNIDAS. Parte I: Manual para os Participantes, Parte II: A Cultura da Paz em ação.
- Haesbaert, R. (2016). As armadilhas do território. Em J. B. D. Silva, C. N. M. D. Silva & E. W. C. Dantas (Ed.), *Território: Modo de pensar e usar* (pp. 19–42). Edições UFC.
- Haesbaert, R. (2011). Concepções de território para entender a desterritorialização. Em M. Santos & B. K. Becker (Ed.), *Território, territórios: ensaios sobre o ordenamento territorial* (pp. 43–71). Lamparina.
- Jares, X. R. (1999). *Educación para la paz: su teoría e práctica* (2ª ed.). Editorial Popular.
- Jares, X. R. (2007). *Educar para a paz em tempos difíceis*. Palas Athena.
- Jares, X. R. (2008). *Pedagogia da convivência*. Palas Athena.
- Ospina Mesa, C. A., Montoya Arango, V., & Sepúlveda López, L. (2021). La escuela es territorio. Cartografía social de experiencias pedagógicas en instituciones educativas de Medellín y Bello, Colombia. *Territorios*, (44-Esp.). <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.9024>
- Santos, M. (1994). *Técnica, Espaço, Tempo: Globalização e Meio Técnico-Científico Informativo* (5ª ed.). Edusp.
- Saquet, M. A. (2015). *Abordagens e concepções de território* (4ª ed.). Outras Expressões.
- Silva, J. B., Silva, C. N. M., & Dantas, E. W. C. (2016). *Território: modo de pensar e usar*. Edições UFC.
- Souza, M. L. (2008). Território da divergência (e da confusão): em torno das imprecisas fronteiras de um conceito fundamental. Em M. A. Saquet & E. S. Sposito (Ed.),

Territórios e territorialidades: teorias, processos e conflitos (1ª ed., pp. 57–72).
Expressão Popular.

Nota

Geografia(s) da Saudade: testemunho vivido e homenagem do grupo de *GeoFísica* à Professora Maria Assunção Araújo

Paulo Lemos *1

¹Doutoramento em Geografia – Faculdade de Letras da Universidade do Porto (CEGOT)

Todo o viajante tem direito de inventar as suas próprias geografias. Se o não fizer, considere-se mero aprendiz de viagens, ainda muito preso à letra da lição e ao ponteiro do professor.

José Saramago, *Viagem a Portugal*, 2011, p. 504.

As viagens são sempre um momento importante na nossa vida, não só pela possibilidade que nos oferecem de expandir horizontes, conhecer novos lugares, pessoas e culturas, mas, sobretudo, pela possibilidade de construir memórias. E são estas 'memórias' que contribuem para o nosso crescimento pessoal e profissional, traduzindo-se em experiências marcantes da nossa vida.

As que trazemos, hoje, são as que marca(ra)m os tempos em que frequentámos a Faculdade de Letras da Universidade do Porto, enquanto estudantes de Geografia e, muito particularmente, aquelas que foram 'criadas e vividas' com a Professora Assunção Araújo.

A nossa 'viagem' começa no 1.º semestre do 2.º ano de licenciatura, em setembro de 2013, quando ambos nos cruzámos, pela primeira vez, na Unidade Curricular (UC) de Geografia Física de Portugal (GFP), uma disciplina que, nas próprias palavras da Professora Assunção Araújo, "(...) é geralmente tida como difícil. As dificuldades dos alunos, que sempre existiram, devem-se, em grande parte, (...) à falta de preparação dos estudantes nas áreas das ciências da Terra" (Araújo, 2008, p. 128), "(...) considerando que muitos deles provêm da área das humanidades" (Araújo, s/d, p. 2). Nesse sentido, a taxa média de aprovados/avaliados da disciplina rondava os 63%¹, mas é importante salientar que a percentagem de alunos que não se submetiam a avaliação, tendo em conta o total de inscritos, era, por vezes, superior a 50%.

Face ao exposto, e ainda que a Professora se tenha munido, ao longo dos anos, de diversificados e criteriosos recursos pedagógicos – com especial predileção pelo uso do *Moodle*, através do qual partilhava o que designava por "Tópicos do Programa"²,

*Email: paulomclemos@outlook.com

¹ Informação relativa ao período 2003/2004 e 2009/2010. Disponível em: https://sigarra.up.pt/up/pt/web_gessi_docs.download_file?p_name=F91198459/GeografiaFisica_de_Portugal.pdf

² Estes tópicos, constituíam "(...) um guião contendo todos os documentos necessários numa sequência pedagogicamente eficaz (...) implementado através da constituição de documentos de síntese, no

bibliografia, cartografia e fotografias dos lugares que foi visitando (permitindo-nos, com estas imagens, ‘viajar’ além das fronteiras físicas da sala de aula) –, raramente recebia dos estudantes o contributo colaborativo que tanto ambicionava para enriquecer as suas sessões e, paralelamente, vencer o desinteresse e a dificuldade de dezenas de estudantes (Araújo, 2008).

A este propósito, e por inúmeras ocasiões (mais do que aquelas de que nos lembramos), defendera as perspetivas socio-construtivistas no processo de ensino-aprendizagem de conteúdos especialmente complexos e abstratos, como alguns da sua UC, por entender que estas assumem o estudante como “(...) o principal agente responsável pela sua aprendizagem (...)” (Goes, 2019, p. 6), pelo que este deve aprender a descobrir, por si mesmo, princípios, conceitos e factos (Amineh & Asl, 2015).

É nesta realidade que reside, também, a memória do Grupo de *GeoFísica* (2013-2017): fundado por um grupo de amigos³, numa ‘conversa de café’ em que discutimos as nossas dificuldades, decidimos reunir todas as 6.ª feiras de manhã para sistematizar conhecimentos e debater os assuntos que se estudavam em GFP e que confluíam, *grosso modo*, para o conhecimento geo(morfo)lógico nacional – extremamente útil, na nossa opinião, para identificar, compreender e, eventualmente, até corrigir as relações que o Homem, na construção dos seus territórios, estabelece com as formas de modelado e o substrato geológico que lhe serve de suporte.

Durante os 5 anos em que subsistiu, o Grupo norteou-se pelo lema “A cooperação é a convicção plena de que ninguém pode chegar à meta se não chegarem todos” (Lopes & Silva, 2009, p. 13), interiorizando-o, através da união e da adoção dos princípios da aprendizagem cooperativa e colaborativa. Através da partilha de conhecimentos, numa espécie de apresentações/explicações, passando pela resolução dos mini-testes disponibilizados pela Professora Assunção Araújo no *Moodle* e pela recolha de informações complementares em fontes diversas, mas fidedignas, fomos superando as dificuldades e alcançámos o sucesso.

Este ‘atalho’, criado ingenuamente, foi bem acolhido por inúmeros outros colegas de outros anos do curso, que não tinham ainda concluído a UC, manifestando muitas dúvidas na área da Geografia Física⁴. Foi, igualmente, acolhido e apoiado pela Professora Assunção, que o motivou na sua missão, disponibilizando todos os recursos necessários e solicitados, incluindo, não raras vezes, a sua ajuda no ‘desdobramento teórico’ – que agora, designaríamos *transposição didática* – de alguns conteúdos mais difíceis de assimilar e, por conseguinte, de explicar. E foram estes momentos que permitiram *encurtar distâncias* entre os estudantes e o sucesso na UC, entre a apatia e o desinteresse e a confiança e segurança em participar nas aulas...finalmente,

formato pdf, que contêm mapas, fotografias, esquemas e separadores que permitam aos estudantes orientar o seu estudo” (Araújo, s.d.). Estes documentos encontram-se ainda disponíveis na página pessoal da Professora Assunção Araújo: <http://web.letras.up.pt/asaraujo/geofis/geofis.html>.

³ Os ‘fundadores’ do Grupo foram Cláudia Costa, Inês Gomes, Jéssica Moreira, Paulo Lemos e Sandra Moutinho.

⁴ Efetivamente, outras UC’s da mesma área, designadamente Geomorfologia, revelavam, igualmente, taxas médias de aprovados/avaliados não muito superiores às de GFP, como se pode constatar consultando as estatísticas disponibilizadas no Sigarra.

sentíamos que “O elemento crucial de uma [boa] participação (...) [consiste na] troca de experiências por meio do diálogo” (Torres & Irala, 2014, p. 89).

A esta ‘experiência’, que demonstrou como o processo de ensino-aprendizagem se torna mais motivador quando nele participamos ativamente, temos de associar as saídas de campo de que a Professora Assunção Araújo não prescindia, tornando a aprendizagem ‘significativa’. Ou seja, “(...) we are really able to learn when concepts are linked. In other words, we acquire knowledge when we relate relevant information to our cognitive structure in a connected and coherent way” (Vallori, 2014, p. 200).

Efetivamente, as saídas de campo, realizadas não só em GFP, mas também em Geomorfologia do Litoral e Quaternário e Mudanças Globais (Figura 1) – UC’s opcionais lecionadas igualmente por si e que frequentamos –, permitiram-nos compreender, através da observação, os por vezes complexos conceitos teóricos. A este propósito, é impossível não recordarmos as palavras de Orlando Ribeiro sobre a importância do contacto direto com a diversidade do espaço na formação dos Geógrafos:

(...) se alguma coisa de vivo passou ao meu ensino e aos meus trabalhos, devo-o a esta fúria de correr o mundo, de ver terras e gentes. Só assim se pode ser Geógrafo. O gabinete, o laboratório, a tranquilidade das bibliotecas, não devem passar para nós, de um repouso transitório no nosso fadário de andarilhos (Ribeiro, 2008, pp. 102–103).

No trabalho de campo, estas palavras justificam claramente a postura de entusiasmo e cumplicidade que se gerava entre a Professora e os estudantes. Lembramo-nos, perfeitamente, que essas saídas, abrindo a sala de aula ao exterior, se perpetuaram como os momentos mais marcantes da nossa ‘viagem’ pela Academia, uma vez que nos permitia apreender os conteúdos programáticos em contexto real, “(...) inventar as [nossas] próprias geografias” (Saramago, 2011, p. 504), fortalecer laços de amizade e ... criar memórias.

Para nós, aliás, esta é uma das facetas de uma Professora que sempre privilegiou o trabalho de campo como uma das metodologias basilares da investigação e ensino em Geografia, estimulando e despertando a curiosidade dos aprendizes de geógrafo: constitui-se como um ‘laboratório perfeito’, onde nos é permitido observar *in loco* os fenómenos, compará-los, identificar particularidades e tendências, e descrever e compreender as dinâmicas que envolvem Território-Natureza-Homem (Fontinha, 2017; Ribeiro, 2012).

Reconhecemos, assim, na Professora Assunção Araújo, o mérito e dedicação na forma como lecionava, contagiando-nos com o seu legado de saberes, (con)vivências e lugares, uns quantos visitados e outros, tantos ou mais, fotografados.

Hoje, o Grupo de *GeoFísica* é uma memória dos inúmeros ‘percursos’ que percorremos ao longo da nossa jornada académica, cuja convivência com a Professora permitiu, inconscientemente, fundar uma nova Unidade Curricular por si ministrada: Geografia(s) da Saudade...relembrar-nos-á(ão), sempre, que na ‘lousa da vida’ a influência de uma Grande Professora nunca se apaga(rá). Por isso, o nosso apreço especial por nos ter incentivado a escrever uma nova história para o nosso Futuro.



Figura 1. Saída de Campo de Geomorfologia do Litoral & Quaternário e Mudanças Globais (24/05/2014).

Bibliografia

- Amineh, R. J., & Asl, H. D. (2015). Review of constructivism and social constructivism. *Journal of Social Sciences, Literature and Languages*, 1(1), 9–16.
- Araújo, M. A. (2008). A Geografia Física de Portugal no Moodle: um desafio que valeu a pena. *Revista da Faculdade de Letras da Universidade do Porto*, 125–148.
- Araújo, M. A. (s.d.). *A Geografia Física de Portugal num contexto de b-learning*. https://sigarra.up.pt/up/pt/web_gessi_docs.download_file?p_name=F91198459/GeografiaFisica_de_Portugal.pdf
- Fontinha, F. (2017). Saídas de Campo no Ensino da Geografia: Uma Metodologia Ainda Atual? *geTup, Revista de Educação Geográfica da UP*, (1), 79–91.
- Goes, S. (2019). *A Aprendizagem Cooperativa: uma estratégia no ensino da Geografia* [Relatório de Estágio de Mestrado em Ensino da Geografia no 3.º Ciclo e no Secundário]. Universidade Nova de Lisboa.
- Lopes, J., & Silva, H. S. (2009). *Aprendizagem cooperativa na sala de aula: um guia prático para o professor*. Lidel.
- Ribeiro, O. (2012). *O Ensino da Geografia*. Porto Editora.
- Ribeiro, O. (2008). Propósitos e projectos da minha carreira de Geógrafo. *Finisterra*, 43(85).
- Saramago, J. (2011). *Viagem a Portugal* (23ª ed.). Editorial Caminho.
- Torres, P. L., & Irala, E. A. F. (2014). Aprendizagem colaborativa: teoria e prática. Em *Complexidade: redes e conexões na produção do conhecimento* (pp. 61–93). Senar.
- Vallori, A. B. (2014). Meaningful learning in practice. *Journal of Education and Human Development*, 3(4), 199–209.

Recensão

***Metáfora do Iceberg. Sobre Pensamento Espacial e Raciocínio Geográfico*, de José Gilberto de Souza. Um livro essencial para a Geografia contemporânea.**

Iceberg Metaphor: On Spatial Thinking and Geographic Reasoning, by José Gilberto de Souza. An essential book for contemporary Geography.

Fátima Velez de Castro *¹

¹Universidade de Coimbra, Departamento de Geografia e Turismo, CEIS20, RISCOS

A vastíssima produção científica, em muito impulsionada por métricas e avaliações exigidas pelos sistemas académicos, nem sempre estimula o interesse pela publicação, ou melhor dizendo, nem sempre propulsiona o estado da arte. É comum encontrar aplicações sistémicas de modelos já mais do que conhecidos, ou repetições metodológicas sem grande relevância para o avanço da ciência, o que retira parte do prazer da leitura académica, por nela não se encontrar grande novidade.

Isso não acontece, de todo, com a obra do Professor José Gilberto de Souza, intitulada *Metáfora do Iceberg. Sobre Pensamento Espacial e Raciocínio Geográfico*, publicada no Brasil, pela Editora Lutas Anticapital, em março deste ano. Trata-se de um livro essencial para Estudantes e Académicas/os de Geografia, por ser um manifesto que vem resgatar as bases da ciência geográfica, numa leitura muito atual da contemporaneidade. O livro é composto por oito capítulos, onde se abordam questões como a etimologia conceitual e o significado de pensamento geográfico, a distinção entre “raciocínio geográfico” e “pensamento espacial”, assim como a apropriação deste último conceito/processo realizada pelo National Research Council. Esta discussão tem como denominador comum o Ensino de Geografia na Escola brasileira, pelo que ainda se torna mais importante ser lido por estudantes dos Mestrados em Ensino de Geografia (formação inicial docente), mas também por profissionais de carreira, tanto brasileiros, como de outras nacionalidades, nomeadamente portuguesas/es. Conhecer outras realidades académicas é condição essencial para se ganhar conhecimentos diversificados, assim como para tomar consciência do ponto da situação do Ensino de Geografia, à escala global.

O facto de, segundo José Gilberto Souza, ter sido produzida uma infinidade de artigos tendo como referência o “pensamento espacial” e o “raciocínio geográfico”,

Cadernos de
Geografia

doi: https://doi.org/10.14195/0871-1623_53_14

Recebido a:

1 de junho de 2026

Aprovado a:

8 de junho de 2026

*Email: velezcastro@fl.uc.pt

veio dar origem à banalização dos termos e, pior do que isso, em muitos casos, originou o uso incorreto de ambos os conceitos. Também se verifica que nem sempre os títulos correspondem aos conteúdos, isto é, o uso das categorias apresenta-se como um desígnio que só é mesmo satisfeito na designação de artigos científicos, sem haver, de facto, uma discussão ou apropriação efetiva pelas/os autoras/es da investigação.

Atente-se na ideia estrutural da obra, expressa no texto de apresentação, em que o autor diz ao que vem, defendendo que *“a (...) centralidade do pensamento espacial (...) revela uma inflexão ideológica que desloca o conhecimento geográfico da sua densidade histórica, ontológica e política para convertê-lo em instrumento funcional, operacional e adaptativo.”* (Souza, 2026). Esta tendência atual, segundo José Gilberto de Souza, pode resvalar para um reducionismo, em que a tecnologia SIG, TIG, TIC deixa de ter um papel de mediação e *“(...) passa a se constituir [como uma] matriz organizadora do próprio processo formativo, subordinando o conhecimento científico a parâmetros operatórios e a demandas de desempenho.”* (ob. cit.). Assim, a “metáfora do iceberg” mais não é do que a chamada de atenção para a (sobre)representação visual do que se vê – a cartografia, as correlações de dados, a análise estatística, as representações geoespaciais, entre outros exemplos – mas, acima de tudo, o alerta para o perigo da menorização daquilo que não é visível nem tangível. Nesta categoria integra-se o conhecimento e o domínio da dimensão concetual, das relações entre fenómenos cronotópicos, da análise inter/intra-escalar, dos processos que estão na base dos fenómenos geográficos e sócio-espaciais. Integra-se ainda a questão da aprendizagem e dos processos pedagógico-didáticos que fundamentam as relações entre Professoras/es e Alunas/os, nas suas especificidades sociais, espaciais, culturais e individuais, onde se inclui a dimensão cognitivo-comportamental, assim como a própria percepção geográfica, por exemplo, através da compreensão dos mapas mentais das/os Estudantes em causa.

Neste livro, José Gilberto de Souza recoloca a centralidade da Geografia e, em especial, do Ensino de Geografia, em bases ontológicas e epistemológicas que colocam em destaque o raciocínio geográfico como elemento central do debate. Além disso, o autor defende ser prioritária a promoção de discussões críticas em que se debatam as formas de produção do espaço, as relações que o engendram, bem como as pedagogias que o neutralizam, pois *“(...) pensar geograficamente o mundo é, antes de tudo, recusar a sua aparência imediata e buscar compreender as determinações profundas que estruturam a vida social.”* (ob. cit.). Trata-se de um livro que não pode deixar de ser lido na Geografia contemporânea.

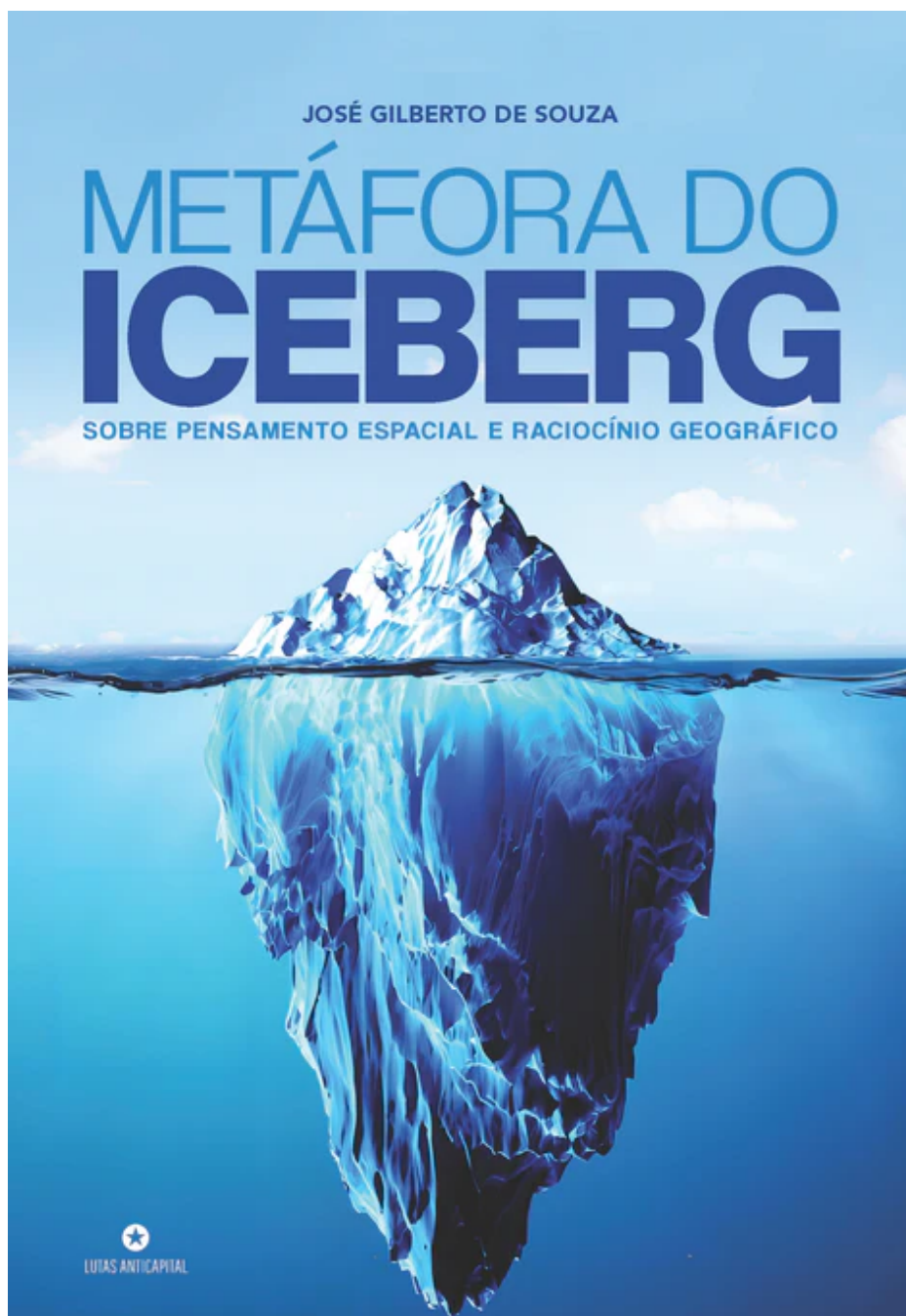


Figura 1. Capa do livro *A Metáfora do Iceberg*, de José Gilberto Souza.

Bibliografia

Souza, J. G. (2026). *Metáfora do Iceberg. Sobre Pensamento Espacial e Raciocínio Geográfico*. Editora Lutas Anticapital. Brasil. ISBN: 978-65-5279-055-2.

Notícia

In memoriam de António Júlio Veiga Simão (1963–2026)

António Manuel Rochette Cordeiro *

Foi com profunda tristeza que recebemos a notícia do falecimento de António Júlio Veiga Simão, geógrafo cuja atividade profissional marcou, ao longo de quase quatro décadas, a evolução das políticas públicas de ordenamento do território, ambiente e desenvolvimento regional em Portugal.

Licenciado em Geografia pela Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra e pós-graduado em Planeamento Municipal e Desenho Urbano pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da mesma universidade, desenvolveu praticamente toda a sua carreira fora do meio académico, optando por colocar o conhecimento geográfico ao serviço da Administração Pública.

Desde os primeiros anos como técnico superior na então Comissão de Coordenação da Região Centro, passando pela Direção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território do Centro, pela Câmara Municipal de Coimbra, pelo iParque, até às funções de Vice-Presidente e de Presidente em substituição da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro, António Júlio assumiu sucessivas responsabilidades técnicas e de direção nas áreas do ordenamento do território, do ambiente, do desenvolvimento regional, da inovação e dos sistemas de informação geográfica. Nos últimos anos exercia funções de Assessor Principal da CCDR Centro, representando igualmente a instituição em diversas iniciativas nacionais e europeias ligadas à inovação territorial e à especialização inteligente.

Embora tenha desenvolvido atividade docente e de formação em diferentes momentos do seu percurso, foi na Administração Pública que construiu o essencial do seu legado. Ainda assim, a sua contribuição para a formação de técnicos merece particular destaque. Lecionou em diversas instituições de ensino superior e de formação especializada, partilhando o seu conhecimento nas áreas do ordenamento do território, da cartografia digital e dos sistemas de informação geográfica. Ao longo de mais de duas décadas contribuiu para a formação de dezenas de técnicos que viriam a integrar autarquias, organismos públicos, empresas de consultoria e outras instituições, desempenhando um papel determinante na disseminação dos Sistemas de Informação Geográfica em Portugal. Muitos dos profissionais que ajudou a formar desempenharam posteriormente um papel relevante na modernização da cartografia técnica municipal e na consolidação dos Sistemas de Informação Geográfica em autarquias e organismos públicos.

Pertenceu a uma geração de geógrafos que contribuiu decisivamente para afirmar a importância da informação geográfica como instrumento de apoio à decisão, numa época em que os Sistemas de Informação Geográfica davam ainda os primeiros passos em Portugal. Mais do que introduzir novas ferramentas técnicas, compreendeu desde cedo que a informação geográfica constituía um instrumento essencial para

produzir melhor conhecimento e apoiar decisões mais qualificadas sobre o território. Defendeu sempre uma visão integrada do ordenamento, do ambiente, da inovação e do desenvolvimento regional, entendendo estas dimensões como partes inseparáveis de uma mesma política territorial.

Conheci o António Júlio ainda na adolescência, em Coimbra, cidade onde ambos crescemos. Anos mais tarde foi meu aluno na Licenciatura em Geografia da Universidade de Coimbra, que concluiu em 1986. A amizade manteve-se ao longo dos anos e foi enriquecida por uma colaboração profissional que nos permitiu partilhar projetos, ideias e uma visão comum sobre o papel da Geografia no desenvolvimento do território.

Foi precisamente nessa fase que colaborámos em alguns dos primeiros trabalhos de cartografia digital desenvolvidos com recurso ao ArcGIS, numa altura em que os Sistemas de Informação Geográfica começavam a afirmar-se em Portugal. Recordo, em particular, o trabalho iniciado em 1999 sobre uma abordagem preliminar ao desenho de *greenways* para o território de Coimbra, que deu mesmo origem a publicações académicas. Foram muitas horas de trabalho, discussão e reflexão conjunta, durante as quais tive oportunidade de conhecer ainda melhor as suas qualidades humanas e profissionais: uma sólida competência técnica, uma permanente curiosidade intelectual e uma convicção profunda de que a Geografia só cumpre plenamente a sua missão quando contribui para melhorar o território e a vida das pessoas. Aquilo que começou por ser uma preocupação partilhada com uma Coimbra mais sustentável foi-se alargando, naturalmente, à escala da Região Centro, acompanhando as responsabilidades que foi assumindo ao longo da sua carreira.

O António Júlio distinguia-se por uma qualidade cada vez mais rara: nunca procurou protagonismo. Preferia o rigor do trabalho técnico, a cooperação entre instituições e a construção paciente de soluções para problemas complexos. Muitos dos projetos em que participou tiveram um impacto significativo sem que o seu nome surgisse em primeiro plano. Essa discrição, longe de significar ausência, era uma expressão da sua forma de estar: privilegiava sempre o interesse público, a qualidade das soluções e o trabalho coletivo.

A sua trajetória demonstra que a Geografia também se constrói fora da universidade e que a Administração Pública constitui um dos seus mais importantes espaços de intervenção. O seu contributo permanece inscrito em numerosos projetos, instituições e processos de planeamento que ajudou a consolidar, bem como na afirmação da informação geográfica como suporte essencial às políticas de desenvolvimento territorial. Esse legado perdurará muito para além dos cargos que desempenhou.

Para mim a memória do António Júlio vai muito para além do seu percurso profissional. Recordá-lo é evocar um amigo de longa data, um colega leal e um geógrafo que colocou sempre o seu conhecimento ao serviço do interesse público. Fê-lo com competência, discrição, generosidade e um raro sentido de responsabilidade. É essa a imagem que permanecerá entre todos os que com ele trabalharam e conviveram: a de um profissional exemplar e de um homem cuja dedicação ao território, à Geografia e ao serviço público contribuiu para transformar a forma como o conhecimento geográfico passou a apoiar as políticas públicas em Portugal, deixando simultaneamente uma marca profunda na memória de todos os que tiveram o privilégio de o conhecer.

Sumário

Artigos

Cordeiro, Gusmão & Barbosa	
Ecoterritório como unidade socioecológica viva	3
Deus, Frade & Sande Silva	
Estrutura fundiária e custos de implementação das faixas e mosaicos de gestão de combustíveis	35
El Motaki, Houari, Akhal, El-fengour	
Soil Degradation and Desertification Risk in the Rif Mountains (Morocco): A MEDALUS-Based Spatial Assessment	65
Lucas, Lameiras e Cordeiro	
Lagos de ar frio no setor norte de Coimbra: análise integrada da dinâmica topoclimática e implicações para o ordenamento do território	79
Chaves, Lameiras e Cordeiro	
Da quantidade de árvores à qualidade climática da sombra: evidências empíricas do coberto arbóreo urbano em Coimbra (Portugal)	105
Fialho, Lameiras, Coelho e Cordeiro	
Designing Climate-Resilient School Playgrounds: A Microclimatic Case Study of Outdoor Thermal Stress in a Mediterranean City (Coimbra, Portugal) . . .	135
Guerreiro, Figueiredo & Campos	
Financial speculation and environmental valuation in carbon price formation in forest carbon markets: a systematic review	165
Inês Sousa	
Gramáticas de exclusão: demografia, desinformação e democracia nas geografias humanas contemporâneas	193
Nossa, Pereira, Lima, Vieira e Mota-Pinto	
Envelhecer no Lugar em Territórios de Baixa Densidade: Acesso a Cuidados de Saúde e Ordenamento da Floresta como Fatores Críticos Identificados em contexto de Coinvestigação	205

Çiki and Tanriverdi	
Demographic Influences on Basic Psychological Needs and Behavioral Intentions of Cultural Tourists	231
Li Ziming	
Beyond Managerialism: A Critical Review of Overtourism Governance and the Chinese Challenge	247
Prudenciano de Souza e Velez de Castro	
A sala de aula como território educativo para a paz e não-violência	265

Nota

Paulo Lemos	
Geografia(s) da Saudade: testemunho vivido e homenagem do grupo de GeoFísica à Professora Maria Assunção Araújo	281

Recensão

Fátima Velez de Castro	
<i>Metáfora do Iceberg. Sobre Pensamento Espacial e Raciocínio Geográfico</i> , de José Gilberto de Souza. Um livro essencial para a Geografia contemporânea	287

Notícia

António Manuel Rochette Cordeiro	
<i>In memoriam</i> de António Júlio Veiga Simão (1963–2026)	293

Sumário

Normas de publicação

1. Tipo de documentos

Na revista *Cadernos de Geografia* publicam-se artigos inéditos, notas, notícias e resenhas em português, inglês, francês ou espanhol.

2. Extensão

2.1 O artigo não deve exceder 50 000 caracteres com espaços, incluindo resumo e palavras-chave em dois idiomas, figuras, quadros e bibliografia final.

2.2 A nota ou notícia não deve possuir mais de 10 000 caracteres com espaços.

2.3 A resenha não deve ultrapassar 30 000 caracteres com espaços.

3. Título

3.1 Deve ser conciso e exprimir o conteúdo do texto.

3.2 É apresentado em minúsculas, a negrito e alinhado à esquerda.

3.3 Deve apresentar-se no mesmo idioma do texto e ser traduzido para inglês.

4. Autores

4.1 O nome do/a(s) autor/a(es/as) é escrito em minúsculas, com as iniciais em maiúsculas, apresentando-se no parágrafo imediatamente a seguir ao título, alinhado à esquerda e a negrito.

4.2 No parágrafo a seguir ao nome do/a(s) autor/a(s) insere-se a afiliação institucional.

4.3 O endereço eletrónico deve constar em nota de rodapé precedida de *.

4.4 No parágrafo a seguir à afiliação de cada autor deve ser indicado o ORCID respetivo.

5. Resumos

5.1 São apresentados dois resumos, um no mesmo idioma do texto e outro em inglês.

5.2 O resumo deve ser conciso, exprimir o conteúdo do texto, contemplando os objetivos essenciais, a metodologia, os resultados e as conclusões alcançadas.

5.3 Não devem fazer-se constar nos resumos referências bibliográficas ou citações.

- 5.4 Cada resumo deve apresentar-se num único parágrafo e não deve exceder as 250 palavras.

6. Palavras-chave

- 6.1 São apresentadas no final de cada resumo.
- 6.2 Surgem em letra minúscula e separadas entre si por ponto final.
- 6.3 Devem ser no mínimo 3 e no máximo 5.
- 6.4 São apresentadas no mesmo idioma do texto e em inglês.

7. Formatação do texto e das secções

- 7.1 Os originais devem ser preparados em suporte digital, em versão recente do *Word*, tamanho A4 com margens superior, inferior e laterais a 2,54 cm. Tipo de letra *Times New Roman* a 12 pt, alinhamento do texto justificado, com avanço de 1,27 cm na primeira linha de cada parágrafo. Espaçamento 1,5 entre linhas.
- 7.2 Os títulos devem estar alinhados à esquerda, a negrito, com letra de tamanho 16 pt. Os subtítulos devem ser formatados de acordo com os níveis indicados no texto original.
- 7.3 As referências bibliográficas devem seguir a norma APA e ser apresentadas corretamente no texto e na secção de Bibliografia.
- 7.4 O texto deve seguir o acordo ortográfico de 1990 e apresentar uma linguagem inclusiva.

8. Notas de pé de página

- 8.1 Devem ser as estritamente imprescindíveis, breves e limitar-se a abonar o texto, a introduzir um esclarecimento ou um ponto crítico.
- 8.2 As referências bibliográficas não devem aparecer em notas de rodapé.
- 8.3 As notas têm uma sequência numérica árabe, contínua, sem parênteses e apresentam-se no final da página.

9. Figuras

- 9.1 A figura designa uma ilustração que contempla mapas, gráficos, representações esquemáticas, desenhos, fotografias, fórmulas, entre outros.
- 9.2 As figuras têm uma sequência numérica árabe e contínua.
- 9.3 As designações das figuras devem ser concisas, exprimir o conteúdo e utilizar maiúsculas apenas no início e nos nomes próprios.

10. Quadros

- 10.1 Todos os quadros devem estar devidamente posicionados e ser referidos no texto.

- 10.2 Os quadros devem ser simples e seguir as orientações específicas de apresentação de título e conteúdo.

11. Bibliografia

- 11.1 Deve ser apresentada em documento à parte, precedida pela palavra **Bibliografia**.
11.2 As referências devem seguir a norma APA.

12. Organização do texto para submissão

- 12.1 Os textos e as figuras devem ser gravados individualmente e integrar uma pasta comprimida em formato ZIP, com limite de 45 MB.

13. Deveres dos/das autores/as

- 13.1 É da exclusiva responsabilidade dos autores a obtenção de autorização para a publicação de material sujeito a direitos de autor.
13.2 Os autores comprometem-se a aceitar as sugestões propostas pelos revisores e justificar adequadamente qualquer discordância.

14. Direitos de edição

- 14.1 Os direitos de edição pertencem ao Departamento de Geografia e Turismo da Universidade de Coimbra.
14.2 A publicação implica a aceitação das instruções para autores e do Código de Ética da UC Digitalis.

Publication guidelines

1. Document Types

The journal *Cadernos de Geografia* publishes original articles, notes, news, and reviews in Portuguese, English, French, or Spanish.

2. Length

- 2.1 Articles must not exceed 50,000 characters (including spaces), encompassing the abstract and keywords in two languages, figures, tables, and the final bibliography.
2.2 Notes or news must not exceed 10,000 characters (including spaces).
2.3 Reviews must not exceed 30,000 characters (including spaces).

3. Title

- 3.1 Must be concise and reflect the content of the text.
- 3.2 Presented in lowercase, bold, and aligned to the left.
- 3.3 Must be written in the same language as the text and translated into English.

4. Authors

- 4.1 The name(s) of the author(s) must be written in lowercase, with initials capitalized, presented in the paragraph immediately following the title, aligned to the left and in bold.
- 4.2 Institutional affiliation must be included in the paragraph following the author(s)' names.
- 4.3 The email address must appear as a footnote preceded by *.
- 4.4 The ORCID identifier for each author must be provided in the paragraph following the affiliation.

5. Abstracts

- 5.1 Two abstracts must be provided: one in the same language as the text and another in English.
- 5.2 The abstract must be concise, summarize the content of the text, and cover essential objectives, methodology, results, and conclusions.
- 5.3 References or citations should not be included in the abstracts.
- 5.4 Each abstract must be in a single paragraph and not exceed 250 words.

6. Keywords

- 6.1 Presented at the end of each abstract.
- 6.2 Written in lowercase and separated by periods.
- 6.3 Should include at least 3 and at most 5 keywords.
- 6.4 Must be written in the same language as the text and in English.

7. Text and Section Formatting

- 7.1 Manuscripts must be prepared digitally, in a recent version of *Word*, A4 size, with top, bottom, and side margins of 2.54 cm. Use *Times New Roman* font at 12 pt, justified text alignment, with a 1.27 cm indentation for the first line of each paragraph. Line spacing must be 1.5.
- 7.2 Titles must be aligned to the left, bold, and set at 16 pt font size. Subtitles should follow the formatting examples indicated in the original text.
- 7.3 References must adhere to APA guidelines and be correctly cited in the text and the Bibliography section.
- 7.4 The text must comply with the 1990 spelling agreement and use inclusive language.

8. Footnotes

- 8.1 Footnotes should be strictly necessary, brief, and used to clarify the text, introduce an explanation, or make a critical point.
- 8.2 References should not appear in footnotes.
- 8.3 Footnotes must be numbered sequentially with Arabic numerals, continuous, without parentheses, and placed at the bottom of the page.

9. Figures

- 9.1 A figure refers to illustrations, including maps, graphs, schematic representations, drawings, photographs, formulas, and more.
- 9.2 Figures must follow a sequential Arabic numbering system.
- 9.3 Figure captions must be concise, describe the content, and use uppercase letters only for the first word and proper nouns.

10. Tables

- 10.1 All tables must be appropriately positioned and referenced in the text.
- 10.2 Tables should be simple and follow specific guidelines for titles and content presentation.

11. References

- 11.1 Must be provided in a separate document, preceded by the word **References**.
- 11.2 References should adhere to APA guidelines.

12. Submission Preparation

- 12.1 Texts and figures must be saved individually and included in a folder named after the first author's last name, compressed in ZIP format, with a maximum size of 45 MB.

13. Authors' Responsibilities

- 13.1 Authors are solely responsible for obtaining permission to publish materials subject to copyright.
- 13.2 Authors agree to accept suggestions proposed by reviewers and adequately justify any disagreement.

14. Editing Rights

- 14.1 Editing rights belong to the Department of Geography and Tourism of the University of Coimbra.
- 14.2 Publication implies acceptance of the submission guidelines and the UC Digitalis Code of Ethics.

Departamento de Geografia e Turismo
Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território

Apoio:



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

