U.PORTO
FLUP FACULDADE DE LETRAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

2º Ciclo de Estudo em Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território

O Custo Temporal da Pendularidade em Santo Tirso: Transporte Público *vs* Transporte Individual

Luís Miguel de Freitas Gonçalves

M

2026

Luís Miguel de Freitas Gonçalves

O Custo Temporal da Pendularidade em Santo Tirso: Transporte Público *vs* Transporte Individual

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, orientada pelo Professor Doutor Miguel Marinho Saraiva

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

2026

Índice

Declaração de honra / *Declaration of Honour* 5
Agradecimentos 6
Resumo 7
Abstract 8
Índice de Figuras 9
Índice de Tabelas 11
Índice de Gráficos 12
Lista de abreviaturas e siglas 13
1.Introdução 14
1.1. Objetivos 17
2.Revisão bibliográfica 18
2.1. A acessibilidade e a mobilidade 18
2.1.1. Acessibilidade ao Transporte Público 21
2.1.2. Acessibilidade ao Sistema de Transporte Público em contextos periurbanos 23
2.2. Justiça no acesso ao Transporte Público 24
2.3. Movimentos Pendulares 26
3.Metodologia 29
3.1. Fase I: Caracterização das Dinâmicas Pendulares 29
3.2. Fase II: Modelação e Representação Espacial da Oferta de Transporte Público 29
3.3. Fase III: Modelação da Acessibilidade Pedonal e Competitividade Modal 30
4.Caracterização da área de estudo 34
4.1. Caracterização e Enquadramento do Município de Santo Tirso 34
4.2. Padrões de Mobilidade 42
4.2.1. Movimentos Pendulares à Escala Metropolitana 43
4.2.2. Movimentos Pendulares à Escala Concelhia 46
4.2.3. Movimentos Pendulares à Escala da Freguesia 51
4.3. Análise da oferta de transportes coletivos de passageiros no concelho 57
5.Análise do serviço de transportes 61
5.1. Rede de autocarros e oferta de paragens de transporte público rodoviário no concelho de Santo Tirso 61

5.1.1. Abrangência das paragens de autocarro 66
5.1.2. Análise da população abrangida pelo serviço de transporte rodoviário 69
5.2. Análise Comparativa do Tempo de Deslocação entre o Transporte Público e o Automóvel 72
5.2.1. Santo Tirso 72
5.2.2. Trofa 77
5.2.3. Vila Nova de Famalicão 81
5.2.4. Guimarães 85
5.2.5. Porto 90
6.Indicador de acessibilidade 94
7.Conclusão 99
Referências Bibliográficas 103
Anexos 107
Anexo 1 107
Anexo 2 108
Anexo 3 109

Declaração de honra / *Declaration of Honour*

Declaro que a dissertação é de minha autoria e não foi utilizada noutro curso ou unidade curricular, desta ou de outra instituição. As referências a outros autores (textos, trabalhos, ideias) respeitam escrupulosamente as regras de atribuição de autoria e encontram-se devidamente indicadas no texto e nas referências bibliográficas, de acordo com as normas de referenciação. Tenho consciência de que a prática de plágio e auto-plágio constitui um ilícito académico.

I hereby declare that this dissertation is of my authorship and has not been used previously in another course, degree, curricular unit or subject, at this or any other institution. References to other authors (statements, ideas, thoughts) scrupulously respect the rules of attribution and are duly indicated in the text and bibliographical references, in accordance with the rules of referencing. I am aware that the practice of plagiarism and self-plagiarism is an academic offence.

Declaro, ainda, que utilizei ferramentas de inteligência artificial generativa (chatbots baseados em grandes modelos de linguagem) para realização de parte da dissertação, encontrando-se todas as interações (prompts e respostas) transcritas em anexo.

I further declare that I have used generative artificial intelligence tools (chatbots based on large language models) to carry out part of this dissertation, and that all interactions (prompts and responses) have been transcribed in the annex.

Porto, 2026

Luís Gonçalves

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Miguel Marinho Saraiva, meu orientador, pela disponibilidade, pelo acompanhamento e pelas orientações fundamentais ao longo de todo o processo de investigação, que em muito contribuíram para o rigor e a qualidade do trabalho desenvolvido.

À minha família, à minha mãe, irmã e à minha namorada Liliana, pelo apoio incondicional, paciência e incentivo constante ao longo deste percurso, em particular nos momentos mais exigentes da elaboração desta dissertação.

Aos meus colegas de curso, pela partilha de conhecimento, pelas discussões que ajudaram a amadurecer muitas das ideias presentes neste trabalho, e pelo companheirismo ao longo deste percurso académico.

Aos meus colegas de trabalho, pela compreensão e pelo apoio demonstrados ao longo deste período, em particular nos momentos em que foi necessário conciliar as exigências profissionais com o desenvolvimento desta dissertação.

Um agradecimento especial à empresa MPT, pela disponibilização dos dados essenciais à realização deste estudo, sem os quais não teria sido possível concretizar a componente de análise espacial da rede de transporte público em Santo Tirso.

Muito obrigado!

Resumo

A mobilidade urbana e a acessibilidade constituem dimensões centrais no planeamento territorial, assumindo particular complexidade em territórios periurbanos. O concelho de Santo Tirso apresenta-se como um caso de estudo estratégico, dada a sua função de articulação entre a Área Metropolitana do Porto e a sub-região do Ave. Apesar de servido por eixos de alta capacidade (A41 e A3) e pela Linha de Guimarães, verifica-se uma forte dependência do transporte individual face ao modo coletivo.

Esta dissertação analisa o custo temporal da pendularidade em Santo Tirso, comparando os tempos de deslocação entre transporte público e automóvel nas deslocações internas e nas principais ligações intermunicipais (Porto, Trofa, Vila Nova de Famalicão e Guimarães), integrando a acessibilidade pedonal como fator condicionante de acesso à rede.

Recorreu-se a dados dos Censos 2021 (INE) para caracterizar os movimentos pendulares e a repartição modal, complementados com modelação espacial em ambiente SIG, alimentada pela rede pedonal e pelos dados GTFS dos operadores do concelho. Os resultados revelam que, embora a cobertura física da rede seja elevada — 81,62% da população a menos de 5 minutos de uma paragem —, a competitividade temporal do transporte público é reduzida: o diferencial face ao automóvel supera os 45 minutos em freguesias periféricas do sul e do quadrante nordeste, atingindo penalizações superiores a uma hora no acesso aos principais destinos interconcelhios. Conclui-se que o défice de atratividade do transporte público não decorre da proximidade física às paragens, mas da ineficiência operacional e da falta de ligações diretas — défice que a implementação de transporte a pedido poderá mitigar, reduzindo a dependência estrutural do automóvel.

Palavras-chave: Transporte Público, Análise Espacial, SIG, Movimentos Pendulares

Abstract

Urban mobility and accessibility are central dimensions of territorial planning, taking on particular complexity in periurban territories. The municipality of Santo Tirso presents itself as a strategic case study, given its role in articulating the Porto Metropolitan Area with the Ave sub-region. Despite being served by high-capacity road axes (A41 and A3) and the Guimarães railway line, a strong dependence on private transport over public transport is observed.

This dissertation analyses the time cost of commuting in Santo Tirso, comparing travel times between public transport and the private car for internal trips and for the main intermunicipal connections (Porto, Trofa, Vila Nova de Famalicão and Guimarães), integrating pedestrian accessibility as a conditioning factor for access to the public transport network.

Data from the 2021 Census (INE) were used to characterise commuting patterns and modal split, complemented by spatial modelling in a GIS environment, based on the pedestrian network and on GTFS data from the operators serving the municipality. The results show that, although physical network coverage is high — with 81.62% of the estimated population living within a 5-minute walk of a stop —, the time competitiveness of public transport is low: the travel time differential relative to the car exceeds 45 minutes in peripheral *freguesias* in the south and in the northeastern quadrant, reaching penalties of over one hour for access to the main intermunicipal destinations. It is concluded that the low attractiveness of public transport in Santo Tirso does not stem from a lack of physical proximity to stops, but rather from operational inefficiency and the absence of direct connections — a deficit that the implementation of demand-responsive transport could help mitigate, reducing the structural dependence on the private vehicle.

Key-words: Public Transport, Spatial Analysis, GIS, Commuting

Índice de Figuras

Figura 1. Enquadramento do município de Santo Tirso 34

Figura 2. Hipsometria e hidrografia do concelho de Santo Tirso 35

Figura 3. Declives no concelho de Santo Tirso 36

Figura 4. Infraestruturas rodoviárias no concelho de Santo Tirso 38

Figura 5. Enquadramento urbano de Santo Tirso 40

Figura 6. Densidade populacional por freguesias 41

Figura 7. Modo de deslocação nos movimentos pendulares na AMP 44

Figura 8. Principais saídas de movimentos pendulares do concelho de Santo Tirso em 2021 47

Figura 9. Distribuição dos principais destinos pendulares a partir das freguesias do concelho de Santo Tirso (2021) 52

Figura 10. População residente que realiza viagens, por freguesia, segmentado por tempo de deslocação. 54

Figura 11. Rede transporte público no concelho de Santo Tirso 58

Figura 12. Linhas de autocarro que fazem a ligação entre Santo Tirso e Polo Universitário (Porto) pela A3 60

Figura 13. Relação espacial entre a densidade de paragens e a população residente no concelho de Santo Tirso 64

Figura 14. Área de influência das paragens de autocarro de Santo Tirso 67

Figura 15. População residente abrangida pelo serviço de transporte público até 400 metros por classes de tempo 71

Figura 16. Tempo de viagem de autocarro e automóvel até à Central de Transportes de Santo Tirso 73

Figura 17. Diferença de tempo entre o transporte público e o transporte individual para a Central de Transportes de Santo Tirso 75

Figura 18. Tempo de viagem de automóvel e transporte público para a Interface Rodoferroviária da Trofa 78

Figura 19. Diferença de tempo entre o transporte público e o transporte individual para a Interface Rodoferroviária da Trofa 79

Figura 20. Tempo de viagem de automóvel e transporte público para a Interface Rodoviária de Vila Nova de Famalicão. 82

Figura 21. Diferença de tempo entre o transporte público e o transporte individual para a Interface rodoviária de Vila Nova de Famalicão 83
Figura 22. Tempo de viagem entre o transporte público e o transporte individual para a Estação Central de Camionagem de Guimarães 86
Figura 23. Diferença de tempo entre o transporte público e o transporte individual para a Interface rodoviária de Guimarães 88
Figura 24. Tempo de viagem entre o transporte público e o transporte individual para o Polo Universitário 91
Figura 25. Diferença de tempo entre o transporte público e o transporte individual para o Polo Universitário 92
Figura 26. Distribuição do Indicador de Acessibilidade Pendular do transporte público 96
Figura 27. Distribuição do Indicador de Acessibilidade Pendular do automóvel..... 97

Índice de Tabelas

Tabela 1. Utilização do transporte individual e público nos movimentos pendulares 16
Tabela 2. Modo de transporte utilizado nos movimentos pendulares na AMP 45
Tabela 3. Variação da população residente no concelho de Santo Tirso (empregada ou estudante) por local de trabalho ou estudo (2011-2021) 46
Tabela 4. Principais concelhos de destino das deslocações pendulares dos residentes de Santo Tirso, 2011 e 2021 48
Tabela 5. Movimentos pendulares da população residente de Santo Tirso, discriminados por população empregada e estudante 50
Tabela 6. Repartição modal da população residente, por freguesias, no concelho de Santo Tirso (2021) 55
Tabela 7. População servida com perda de tempo superior a 30 minutos entre transporte público rodoviário e o transporte individual, por freguesia com destino à Central de Transportes de Santo Tirso. 76
Tabela 8. População servida com perda de tempo superior a 30 minutos entre transporte público rodoviário e o transporte individual, por freguesia com destino à Interface da Trofa..... 80
Tabela 9. População servida com perda de tempo superior a 30 minutos entre transporte público rodoviário e o transporte individual, por freguesia com destino à Interface Rodoviária de Vila Nova de Famalicão 84
Tabela 10. População servida com perda de tempo superior a 30 minutos entre transporte público rodoviário e o transporte individual, por freguesia com destino à Central de Transportes de Guimarães. 89
Tabela 11. População servida com perda de tempo superior a 30 minutos entre transporte público rodoviário e o transporte individual, por freguesia com destino ao Polo Universitário - Porto 93

Índice de Gráficos

GRÁFICO 1. POPULAÇÃO RESIDENTE NO CONCELHO DE SANTO TIRSO QUE REALIZA VIAGENS, SEGMENTADO POR TEMPO DE DESLOCAÇÃO (2021)..... 49

GRÁFICO 2. REPARTIÇÃO MODAL DAS DESLOCAÇÕES PENDULARES DA POPULAÇÃO RESIDENTE NO CONCELHO DE SANTO TIRSO 50

Lista de abreviaturas e siglas

AMP ..... Área Metropolitana do Porto

GTFS ..... General Transit Feed Specification

API ..... Application Programming Interface

BGRI ..... Base Geográfica de Referenciação de Informação

CAOP ..... Carta Administrativa Oficial de Portugal

CIM ..... Comunidade Intermunicipal

COS ..... Carta de Ocupação do Solo

EN ..... Estrada Nacional

ER ..... Estrada Regional

IC ..... Itinerário Complementar

IP ..... Itinerário Principal

INE ..... Instituto Nacional de Estatística

MDT ..... Modelo Digital de Terreno

OSM ..... OpenStreetMap

OSRM ..... Open Source Routing Machine

SIG ..... Sistemas de Informação Geográfica

TP ..... Transporte Público

1. Introdução

A mobilidade urbana e a acessibilidade constituem dimensões centrais do planeamento territorial e da formulação de políticas públicas, na medida em que estruturam o desenvolvimento sustentável das cidades e orientam a organização do espaço urbano (ONU, 2013). A literatura sublinha que o objetivo fundamental dos sistemas de transporte não é apenas garantir a capacidade de deslocações, mas promover a inclusão e proporcionar acesso efetivo a oportunidades urbanas, isto é, ao emprego, educação, aos serviços de saúde, ao comércio, aos equipamentos coletivos e às oportunidades de lazer (Geurs & van Wee, 2004; ONU, 2013; Pais et al., 2025).

Neste sentido, a acessibilidade surge como condição-chave para a melhoria da qualidade de vida, uma vez que níveis reduzidos de acesso a infraestruturas e serviços podem limitar a participação em atividades quotidianas e comprometer o bem-estar subjetivo (Kim, 2024). Estas dimensões condicionam o acesso ao emprego, aos bens e aos serviços urbanos, influenciando a inclusão social e a coesão territorial, sobretudo no caso de grupos mais vulneráveis, como pessoas com deficiência, idosos ou indivíduos com mobilidade reduzida (Elorduy et al., 2025). Destaca-se ainda que investir em infraestruturas de transporte acessíveis contribui simultaneamente para reduzir desigualdades, promover a justiça espacial e a equidade no acesso aos serviços essenciais, assim como apoiar o cumprimento do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 11, relativo a cidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis (Elorduy et al., 2025; ONU, s.d.).

A análise da acessibilidade permite compreender os padrões de deslocação da população, avaliando a facilidade com que os indivíduos conseguem aceder a múltiplos destinos a partir de uma origem. Esta análise é influenciada por vários fatores, como a distância, tempo de deslocação, custo e as características individuais (Geurs & van Wee, 2004).

Por outro lado, a mobilidade está relacionada com a capacidade de deslocação no território, estando fortemente dependente da presença e qualidade das infraestruturas, do planeamento do território e da organização do sistema de

transportes, elementos que condicionam a forma como as pessoas podem transformar acessibilidade potencial em viagens efetivas (Geurs & van Wee, 2004; ONU, 2013).

Estes conceitos de acessibilidade e mobilidade estão interligados e desempenham um papel fundamental nas áreas metropolitanas e periurbanas, onde se intensificam os movimentos pendulares. Estes correspondem a deslocações diárias da população, predominantemente entre locais de residência e trabalho ou estudo, mas também para outras atividades regulares, caracterizando-se pela sua natureza cíclica e previsível (Rodrigue, 2024). A escolha modal associada aos movimentos pendulares é influenciada por fatores como a disponibilidade, a frequência e a qualidade do transporte público, compatíveis com a rotina, os custos das deslocações, o tempo de viagem e a organização do território, incluindo a densidade urbana e a proximidade entre funções (Geurs & van Wee, 2004; Wardman, 2014).

A Área Metropolitana do Porto, que agrega 17 municípios do Norte de Portugal e concentra cerca de 1,7 milhões de habitantes, possui uma estrutura policêntrica (Silva et al., 2023) onde se cruzam dinâmicas de centralidades metropolitanas e territórios periurbanos, intensificando fluxos pendulares e desafios de acessibilidade. Como refere Rodrigue (2024), num contexto onde o automóvel individual predomina nas deslocações diárias, contribuindo para congestionamentos e emissões, o debate sobre a transição para os transportes públicos ganha relevância, pois estes promovem maior equidade, sustentabilidade e redução da dependência do automóvel individual.

O concelho de Santo Tirso, localizado no extremo noroeste da Área Metropolitana do Porto, ocupa uma área de 136,5 km^2 em posição de transição com o Grande Porto, o Vale do Ave e o Vale do Sousa. Este encontra-se servido por uma vasta rede rodoviária e ferroviária, contudo, apesar do posicionamento favorável, observa-se uma excessiva dependência do automóvel individual nos movimentos pendulares.

Segundo os censos de 2021, nacionalmente¸ 66% dos movimentos pendulares são feitos por automóvel. Na AMP, este valor é ligeiramente superior, aproximadamente 68%, em Santo Tirso a percentagem atinge 74%. Em contrapartida, apenas 11%

utilizam o transporte público, valores abaixo da média metropolitana e nacional (Tabela 1).

Tabela 1. Utilização do transporte individual e público nos movimentos pendulares

Local de Residência	% Automóvel	% Transporte Público
Portugal	66%	18%
Área Metropolitana do Porto	68%	18%
Santo Tirso	74%	11%

Fonte: INE, Censos 2021

Este cenário evidencia desequilíbrios na atratividade do sistema de transporte público, resultando numa clivagem entre a mobilidade teórica e a acessibilidade real experienciada pelos cidadãos. Em contextos periurbanos como Santo Tirso, a dependência do automóvel não é apenas uma escolha, mas muitas vezes uma consequência da penalização de conveniência imposta por redes de transportes públicos fragmentadas.

Assim, torna-se crucial analisar a eficiência do sistema através da métrica do custo-tempo, compreendendo como a configuração espacial das redes molda as oportunidades de deslocação da população.

Neste contexto, a presente dissertação propõe avaliar a competitividade territorial do transporte público em Santo Tirso através da modelação espacial da acessibilidade e dos fluxos pendulares. Indo além da análise descritiva, o estudo procura diagnosticar as assimetrias de conectividade entre o modo rodoviário individual e o coletivo, fundamentando-se nas seguintes questões de investigação:

- Diferencial de Acessibilidade: Qual a disparidade temporal entre o automóvel e o transporte público rodoviário para os principais destinos pendulares?
- Eficiência da Cobertura: Em que medida a rede atual de transporte público serve as áreas de maior densidade residencial, considerando a acessibilidade pedonal de 400 metros como fator crítico de conveniência?

- Potencial de mudança modal: quais as zonas do concelho que apresentam maior potencial de transferência modal, caso se verifique uma otimização dos tempos de viagem e da oferta do serviço de transporte público rodoviário?

Com esta análise, pretende-se contribuir para a discussão sobre o ordenamento do território, utilizado a acessibilidade como um indicador de equidade sócio espacial, garantindo que o direito à mobilidade não dependa exclusivamente da posse de um veículo próprio.

1.1. Objetivos

O objetivo central desta dissertação consiste em avaliar a competitividade territorial do sistema de transporte público em Santo Tirso, através da análise comparativa dos tempos de deslocação dos movimentos pendulares casa-trabalho face ao transporte individual e da abrangência espacial da rede pedonal de acesso.

Para operacionalizar a análise da competitividade territorial em Santo Tirso, a investigação estrutura-se em torno de metas que permitem quantificar a eficiência da rede e a experiência temporal do utilizador. Reconhecendo que a acessibilidade é um conceito multidimensional, definem-se os seguintes objetivos específicos para orientar a componente empírica do estudo:

- Modelação espacial da oferta: mapear a rede de transporte público e avaliar a cobertura em função da densidade residencial, utilizando a métrica de acessibilidade pedonal como indicador de proximidade;
- Análise comparativa de desempenho: quantificar o diferencial de tempo de viagem entre o transporte coletivo e o automóvel para os principais destinos pendulares, integrando modelos de tráfego dinâmico para o modo individual.
- Diagnóstico de atratividade relativa: identificar as zonas do concelho onde a disparidade temporal entre os modos é mais acentuada, discutindo como a configuração da rede influencia a predominância do transporte privado.

2. Revisão bibliográfica

2.1. A acessibilidade e a mobilidade

A acessibilidade constitui um pilar fundamental no planeamento urbano e de transportes, definindo-se pela capacidade de os indivíduos alcançarem os destinos e atividades necessárias ao seu quotidiano. Segundo Bracarense e Ferreira (2018), esta dimensão depende da deslocação física, realizada por meios motorizados ou suaves, sendo condicionada por um conjunto de variáveis que incluem a distribuição espacial das funções urbanas, a rapidez, as características físicas e as condições financeiras do utilizador, bem como os custos associados a cada trajeto. Deste modo, a acessibilidade assenta na facilidade de um indivíduo alcançar os seus destinos, influenciando diretamente a forma como as atividades e serviços se distribuem no espaço geográfico.

Na sua definição clássica, Hansen (1959) interpreta a acessibilidade como um "potencial de oportunidades de interação" (p. 73). Segundo esta perspetiva, a acessibilidade de um determinado local é proporcional à densidade de oportunidades disponíveis (como os postos de trabalho e serviços) e inversamente proporcional ao custo da deslocação, seja este medido em distância ou tempo. Esta abordagem introduz a lógica dos modelos gravitacionais no planeamento, onde a fricção da distância atua como o principal moderador do acesso às funções urbanas.

Contudo, a evolução do pensamento urbanístico conduziu a abordagens mais sistemáticas. Geurs e van Wee (2004) propõem uma visão multidimensional, na qual a acessibilidade reflete o grau em que os sistemas de transporte e uso do solo permitem que os indivíduos satisfaçam as suas necessidades. Esta proposta destaca-se por integrar quatro componentes fundamentais para a sua medição:

- Uso do solo: a distribuição geográfica da oferta
- Transporte: o esforço necessário para superar a distância
- Temporalidade: a disponibilidade das oportunidades e do tempo do indivíduo

- Características individuais: as necessidades e capacidades específicas de cada utilizador

Esta transição conceptual marca a passagem de uma visão puramente infraestrutural para uma perspetiva integrada, que reconhece a acessibilidade como o resultado da simbiose entre o comportamento do indivíduo, a organização do espaço e o desempenho do sistema de transportes.

Atualmente, a problemática da integração funcional entre as áreas periurbanas e os grandes centros urbanos constitui um dos eixos centrais do planeamento territorial, dada a complexidade de integrar estes territórios nos sistemas metropolitanos (Thao et al., 2023). As áreas periurbanas caracterizam-se por padrões de ocupação do solo descontínuos, baixa densidade e por uma combinação fragmentada de funções residenciais, rurais e produtivas. Estas condições dificultam a viabilidade económica e a eficiência operacional dos modelos convencionais de transporte público (Bauchinger et al., 2021; Thao et al., 2023).

Em áreas de baixa densidade, Martí et al. (2024) afirmam que o principal desafio do transporte coletivo transcende a mera existência de infraestruturas, residindo na promoção de uma acessibilidade efetivamente funcional. A dificuldade de assegurar níveis de serviço competitivos através de redes fixas convencionais nestas periferias induz uma dependência estrutural do automóvel particular. Por conseguinte, a superação destas barreiras materializa-se na intensificação dos movimentos pendulares, que representam uma necessidade estrutural da sociedade contemporânea (Champion et al., 2008). Conforme sublinha Pacheco (2005), cabe ao sistema de transporte a responsabilidade de viabilizar estes fluxos diários de forma eficaz, debatendo-se permanentemente com uma dupla frente: a urgência em responder às necessidades de mobilidade das populações e o impacto que estas soluções exercem na ocupação e alteração do uso do solo.

A resposta tradicional a este desafio tem sido moldada pelo paradigma convencional do planeamento, focado estreitamente na mobilidade. Esta perspetiva centra-se na infraestrutura, cujo objetivo principal consiste em assegurar a circulação fluida de

pessoas e mercadorias, avaliando a eficácia do sistema maioritariamente através da minimização do tempo de viagem e do aumento das velocidades comerciais (Akse et al., 2021; Comissão Europeia, 2020).

Todavia, a mobilidade e a acessibilidade não são conceitos isolados, mas sim forças estruturantes que moldam as transformações no ordenamento do território. Enquanto a mobilidade se centra na eficiência das deslocações e na redução dos tempos de deslocação, a acessibilidade resulta da interação complexa entre a forma urbana e o sistema de transportes, influenciando a capacidade efetiva de alcançar pessoas, bens, serviços e oportunidades. É esta a lógica de acessibilidade que condiciona decisões de localização residencial, económica e institucional, com impactos diretos no desenvolvimento urbano, na inclusão social e no bem-estar (Rode & da Cruz, 2018).

Ocorre que, quando as políticas públicas negligenciam esta interdependência, privilegia-se um modelo de crescimento desequilibrado. Os sistemas de transportes voltados predominantemente para o aumento da mobilidade, sem ter em conta a questão da acessibilidade, tendem a reforçar padrões de dispersão urbana e dependência do automóvel, especialmente em áreas mais rurais (Bauchinger et al., 2021). Nestes contextos, a inadequação do transporte público tradicional face à distribuição da população do solo, contribui para um ciclo de baixa acessibilidade e fragmentação territorial, com impactos na equidade espacial e coesão territorial (Thao et al., 2023).

2.1.1. Acessibilidade ao Transporte Público

No âmbito do planeamento de transportes, importa destrinçar as duas dimensões complementares da acessibilidade: a acessibilidade pelo transporte, que reflete a capacidade do sistema em ligar os indivíduos aos seus destinos finais, e a acessibilidade ao transporte, focada especificamente na facilidade com que o utilizador alcança a infraestrutura física ou o ponto de embarque (paragem ou estação) a partir do seu local de origem (Bracarense & Ferreira, 2018). Esta última dimensão (frequentemente designada na literatura como "primeira e última milha") constitui um elemento-chave para determinar a atratividade e a viabilidade ecológica do modo coletivo face ao transporte individual.

As redes de transporte influenciam diretamente a estrutura funcional e a distribuição espacial das atividades socioeconómicas e vice-versa, além de condicionar o desenvolvimento presente e futuro, bem como a estrutura funcional das cidades. Em regiões menos desenvolvidas, o reforço da acessibilidade aos transportes contribui para a redução dos custos espaciais da distância, facilitando também a estruturação dos setores económicos da região. Neste contexto, o investimento na promoção e melhoria de acessibilidade à rede de transportes é amplamente reconhecido com um instrumento eficaz de promoção da coesão social, económica e territorial (Martínez et al., 2021).

De acordo com Geurs e van Wee (2004), a eficiência desta ligação inicial é condicionada por fatores operacionais e espaciais coordenados, integrando a distância métrica até à paragem, a topografia do percurso e a qualidade do serviço esperado. Uma infraestrutura de paragens geograficamente próxima, mas associada a um serviço operacionalmente deficitário – caracterizado por baixas frequências ou falhas horárias – não gera acessibilidade real para o utilizador (Walker, 2024).

Por conseguinte, uma rede de transportes com fracos níveis de acessibilidade pedonal tende a registar uma quebra expressiva na procura, comprometendo a sua sustentabilidade financeira. Este cenário é particularmente crítico em contextos periurbanos e de baixa densidade populacional, onde a dispersão do edificado aliada à

escassez de oferta regular induz uma dependência estrutural do automóvel particular (Bauchinger et al., 2021; Carroll et al., 2021; Martí et al., 2024). No paradigma da mobilidade urbana sustentável, os modos ativos surgem como os principais elos de alimentação do transporte público. Conforme demonstram Charreire et al. (2021) a esmagadora maioria das viagens em transporte coletivo depende intrinsecamente de um percurso pedonal ou ciclável inicial e final. Esta integração intermodal eficaz depende, todavia, da existência de infraestruturas como passeios acessíveis, ciclovias seguras e soluções de estacionamento apropriadas para bicicletas e trotinetes (Pucher & Buehler, 2017), revelando-se a distância linear a variável mais sensível neste processo (García-Palomares et al., 2013).

A proximidade física aos pontos de acesso dita a probabilidade de adesão ao transporte público: quanto maior for o percurso a pé, menor será a propensão do indivíduo para utilizar o sistema (Tennøy et al., 2022). A literatura demonstre que esta procura decresce de forma contínua e exponencial à medida que a distância pedonal aumenta (Hess, 2011; Tennøy et al., 2022). Com base nesta evidência empírica, o planeamento urbano adota limiares técnicos de conforto pedonal, consensualizados na literatura em 400 metros para as paragens de autocarro e 800 metros para as estações ferroviárias (García-Palomares et al., 2013; Litman, 2024).

Contudo, a eficácia desta cobertura espacial não pode ser avaliada exclusivamente através de distâncias geométricas euclidianas, sendo fortemente condicionada pela orografia. Conforme preconizado por Páez et al. (2012), o declive acentuado atua como uma barreira física que incrementa o esforço necessário, sendo um fator de exclusão particularmente relevante para grupos vulneráveis e que pode reduzir a área de influência real de uma paragem, independentemente da distância métrica. Assim, a avaliação integrada destas variáveis (distância real, declive, conectividade e qualidade infraestrutural) constitui a matriz fundamental para o diagnóstico da rede de transporte público, permitindo fundamentar decisões estratégicas de reestruturação de linhas ou a implementação de sistemas de transporte flexível onde a densidade urbana e a topografia inviabilizem a operação convencional

2.1.2. Acessibilidade ao Sistema de Transporte Público em contextos periurbanos

A qualidade e eficácia de um sistema de transporte público estão intrinsecamente dependentes da sua conectividade estrutural (Mishra et al., 2012). A conectividade de uma rede é avaliada através de indicadores de desempenho operacional, onde um sistema articulado por interfaces eficientes e linhas coordenadas maximiza a atratividade do serviço, reduzindo os tempos de espera e penalizações por transbordo. A garantia desta eficiência territorial é determinante para mitigar as disparidades sócioespaciais decorrentes da dispersão geográfica.

A aplicação prática destes princípios de conectividade enfrenta, contudo, complexidades acrescidas em territórios de densidade intermédia e cariz periurbano. Nestas geografias, a distribuição dispersa de residências e polos de emprego dificulta a viabilidade de redes densas e frequentes, típicas dos grandes centros metropolitanos (OECD, 2018). Esta realidade é particularmente visível em cidades médias com características de povoamento disperso e ocupação do tipo linear, como é o caso de Santo Tirso.

O principal obstáculo à competitividade do transporte público em áreas não urbanas reside na descontinuidade espacial entre os pontos de acesso à rede a as origens ou os destinos reais das viagens. Conforme sublinhado por Bauchinger et al. (2021), a grande desvantagem do transporte público em áreas rurais advém do facto de as estações e paragens não coincidirem diretamente no ponto inicial ou final das jornadas individuais. Esta lacuna obriga os indivíduos a percorrer o "first or last mile"[1] , cuja facilidade de superação é fundamental para a aceitação e viabilidade da rede de transportes (Bauchinger et al., 2021).

[1] Designa-se como a etapa inicial ou final de uma deslocação e corresponde à distância física que o utilizador necessita de percorrer (a pé, de bicicleta ou noutro modo) entre o seu local exato de origem ou destino e o ponto de acesso ao transporte público mais próximo European Environment Agency. (2019). The first and last mile — the key to sustainable urban transport.
A facilidade ou a restrição na superação desta distância é considerada determinante para a atratividade e aceitação geral do sistema de transportes.

Paralelamente, a baixa densidade populacional impõe um desafio crítico à viabilidade económica da operação. Em territórios de baixa densidade, as redes de transporte público não conseguem sustentar-se apenas com a receita tarifária, devido à reduzida procura, exigindo compensações financeiras pelas autoridades de transporte (Teles, 2020), correspondendo a um desafio de sustentabilidade social e ambiental para as zonas rurais (Noordveld et al., 2025). Este cenário acaba por agravar o risco de exclusão social para a população sem acesso a veículo próprio (Bauchinger et al., 2021). Perante este diagnóstico, a sustentabilidade da mobilidade em cidades médias depende da transição para sistemas integrados e inteligentes, nos quais o transporte a pedido assume um papel central ao oferecer soluções de mobilidade, especialmente úteis em áreas rurais e com população dispersa, mais económicas que o transporte público tradicional, contribuindo em simultâneo para o desenvolvimento económico e a inclusão social (Interreg Europe, 2024).

2.2. Justiça no acesso ao Transporte Público

A mudança da equidade para a justiça social reflete uma renovação fundamental no planeamento urbano, passando por uma visão focada na eficiência do sistema para uma abordagem centrada nas pessoas que o utilizam. Historicamente, a avaliação de políticas de mobilidade baseou-se numa perspetiva utilitarista, orientada para a maximização do bem-estar agregado da população – com a redução dos tempos de viagem – ignorando frequentemente a forma desigual como os custos e benefícios destas infraestruturas eram distribuídos pelos vários grupos sociais (Martens, 2017). Contudo, a verdadeira justiça nos transportes exige que nenhum indivíduo ou grupo social seja prejudicado pela falta de acesso às oportunidades diárias essenciais para ter uma vida digna (Karner et al., 2020).

Para fundamentar as métricas de avaliação em justiça nos transportes, a literatura afasta-se do utilitarismo e alicerça-se em teorias éticas deontológicas e na abordagem das capacidades. Apoiando-se no igualitarismo de Rawls, defende-se que a acessibilidade atue como um bem primário sujeito ao "princípio da diferença", onde as

desigualdades espaciais só são aceitáveis se servirem para minimizar as desvantagens de mobilidade dos grupos mais vulneráveis (Amorim & Abreu e Silva, 2024).

Apoiando-se na teoria das "Esferas de Justiça" de Michael Walzer, Martens (2012) defende que o transporte tem um papel tão vital na sociedade contemporânea que deve construir a sua própria "esfera de distribuição", independentemente das regras do mercado e do poder de compra. Nesta perspetiva, o objetivo não deve ser distribuir a "mobilidade abstrata", mas sim a acessibilidade pessoal – ou seja, a facilidade real com que um indivíduo consegue superar a distância geográfica para alcançar recursos e atividades essenciais (Martens, 2012). Como a igualdade territorial é impossível devido às diferenças estruturais entre o centro e a periferia, é introduzido o princípio "Maximax" (Martens, 2012). Este critério defende que o planeamento urbano deve maximizar a acessibilidade média de toda a população, sujeito a uma condição estrita: a desigualdade entre o grupo mais favorecido e o menos favorecido não pode ultrapassar um limite socialmente aceitável.

A justiça nos transportes vai muito além da simples distribuição das infraestruturas, esta exige, em primeiro lugar, uma justiça de reconhecimento. Esta dimensão rejeita o planeamento feito para um sujeito abstrato, obrigando a valorizar as necessidades reais dos grupos mais desfavorecidos e silenciados, como mulheres, idosos, pessoas com mobilidade reduzida e minorias económicas (Verlinghieri & Schwanen, 2020).

Em segundo lugar, a concretização destas ambições depende de uma robusta justiça processual. Isto significa garantir a inclusão efetiva das populações mais vulneráveis nos próprios processos de tomada de decisão (Verlinghieri & Schwanen, 2020).

Neste contexto, as abordagens clássicas, por serem "centradas no Estado" (modelos top - down) são amplamente criticadas por tenderem a proteger o poder institucional estabelecido. Em alternativa, a literatura defende a adoção de táticas "centradas na sociedade" (modelos bottom-up). Estas procuram fortalecer a mobilização popular e os métodos de planeamento verdadeiramente participativos (Karner et al., 2020; Verlinghieri & Schwanen, 2020).

Desta necessidade emerge o debate entre a acessibilidade concebida pelos especialistas e a acessibilidade vivida por quem transita no território (Conesa et al., 2025). A acessibilidade percebida é conceptualizada como a facilidade com que o indivíduo sente a sua viabilidade de alcançar os seus destinos de interesse recorrendo ao sistema de transportes disponível. Estes estudos revelam que existem desigualdades marcantes com base no género e na idade, mostrando que mulheres e jovens — por dependerem maioritariamente do transporte público — registam valores significativamente mais baixos de acessibilidade percebida e de satisfação com as viagens, comparativamente aos utilizadores de automóvel (Lättman et al., 2024). Esta realidade evidencia um autêntico "iceberg de inacessibilidade" (Conesa et al., 2025): a ponta visível engloba os grandes obstáculos físicos e geográficos — como a indisponibilidade de linhas ou barreiras físicas —, mas debaixo da superfície reside um grande número de barreiras camufladas, incluindo dificuldades económicas provenientes de tarifas desajustadas, barreiras informativas e obstáculos associados ao stress, ao isolamento e à insegurança.

No contexto específico de Santo Tirso, município periurbano onde 74% das deslocações pendulares são realizadas em automóvel e apenas 11% em transporte público, a dimensão da justiça na acessibilidade assume particular relevância. A superação destas lacunas implica conciliar indicadores de distribuição de infraestruturas com abordagens de planeamento que integrem ativamente as necessidades reais das populações, orientando o setor dos transportes por uma ética do cuidado que reconheça a multiplicidade das condições de mobilidade e as responsabilidades das instituições públicas pelos impactos que os padrões de deslocação geram no bem-estar humano.

2.3. Movimentos Pendulares

Os movimentos pendulares, caracterizados pelas deslocações diárias entre residência e local de trabalho, constituem um indicador fundamental para avaliar a eficiência, a acessibilidade e o equilíbrio de funções num território (Wu & Chieh, 2025).

Mais do que uma simples métrica de mobilidade, estes fluxos revelam a eficácia da articulação entre o uso do solo e os sistemas de transporte. A escolha modal nestas deslocações é influenciada por uma matriz complexa de condicionantes que ultrapassa a mera minimização do tempo de viagem.

Conforme propõem Lunke et al. (2022), a atratividade do transporte público é determinada por uma perceção de qualidade que integra o tempo de espera, o número de transbordos e o conforto (ocupação). Estes autores reforçam que a competitividade do sistema coletivo face ao automóvel depende de fatores estruturais, tais como a densidade populacional na origem e no destino, o nível de congestionamento rodoviário e a proximidade física às interfaces.

É nesta convergência de fatores que se estabelece a ponte entre a morfologia urbana e o desempenho da rede. Como discutido anteriormente, a acessibilidade à paragem funde-se com a qualidade intrínseca do serviço para ditar a utilidade da rede (Walker, 2024).

Nas áreas urbanas densamente povoadas, os sistemas de transporte público proporcionam um ambiente mais propício ao avanço da mobilidade sustentável. Esta configuração permite uma concorrência mais eficaz com o transporte individual devido à maior capacidade operacional e viabilidade económica suportada pela alta densidade populacional. Contudo, em regiões periféricas, rurais ou de baixa densidade, o predomínio do automóvel resulta frequentemente da limitada capacidade e viabilidade financeira dos modelos convencionais de transporte público (Noordveld et al., 2025).

Esta fragilidade dos modelos tradicionais é exacerbada pelas recentes transformações na morfologia urbana, que alteram profundamente a origem e o destino das deslocações quotidianas. Atualmente, as transformações territoriais, marcadas pela descentralização da habitação e do emprego, alteraram a natureza dos movimentos pendulares. Segundo Giuliano e Hanson (2017), o modelo tradicional centro-periferia deu lugar a fluxos mais complexos e transversais: subúrbio-subúrbio. Esta realidade é particularmente relevante em áreas metropolitanas de estrutura policêntrica, como a

Área Metropolitana do Porto, na qual se insere Santo Tirso. Como resultado, as deslocações pendulares entre as áreas periféricas exigem frequentemente um trajeto radial inconveniente através do centro das cidades, incentivando o uso do automóvel privado para estas viagens (David & Kilani, 2022).

A transição para modelos de mobilidade mais sustentáveis nos movimentos pendulares depende de uma compreensão profunda dos fatores que moldam a escolha modal. Esta decisão não é meramente reacional ou baseada no tempo de viagem, é o resultado de uma interação complexa entre a acessibilidade económica, a qualidade do serviço e a perceção de custo.

Um dos principais inibidores do uso do transporte público é a estrutura tarifária. Como refere White (2009), os custos imediatos no transporte público, nomeadamente o bilhete ou o passe mensal, podem representar uma barreira de entrada, especialmente quando comparados com o "custo invisível" do automóvel.

Apesar da importância do preço, a qualidade do serviço é o fator com maior peso na fidelização do utilizador. Segundo Paulley et al. (2006), embora a procura seja sensível a variações tarifárias, especialmente entre utilizadores que possuem alternativa no transporte individual, são variáveis como a frequência, a fiabilidade e o conforto que geram aumentos duradouros na adesão ao sistema coletivo. Em contextos de movimentos pendulares, onde a previsibilidade é crítica, a falha nestas dimensões anula qualquer vantagem económica que o passe social pode oferecer.

3. Metodologia

A presente investigação adota uma abordagem quantitativa e espacial para avaliar a eficácia da rede de transporte público em Santo Tirso, cruzando a oferta instalada com as necessidades da população. O desenho metodológico estrutura-se em três fases sequenciais e complementares que permitem transitar da análise estatística para a modelação geográfica.

3.1. Fase I: Caracterização das Dinâmicas Pendulares

A primeira fase foca-se no diagnóstico dos padrões de mobilidade quotidiana, utilizando como fonte primária os dados dos Censos de 2021 e 2011 (INE). Esta análise visa identificar a estrutura funcional do concelho através de:

- Matrizes Origem-Destino (O/D): Identificação de volumes e direções das deslocações pendulares, distinguindo os fluxos internos (intraconcelhios) dos fluxos externos (interconcelhios).
- Partição modal: Análise da distribuição dos modos de transporte utilizados, permitindo aferir o grau de dependência do automóvel face ao transporte coletivo em cada freguesia.

3.2. Fase II: Modelação e Representação Espacial da Oferta de Transporte Público

A segunda fase consiste na representação espacial da rede de transportes presente no concelho de Santo Tirso, atualmente operada por três redes distintas (UNIR, Mobiave e Ave Mobilidade). O objetivo consistiu em converter os dados operacionais em informação geográfica útil para análise em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica.

- Dados Estruturados (GTFS): Para a representação espacial da rede de transportes, foram utilizados os dados GTFS, da rede Unir e Mobiave, cedidos pela MPT – Mobilidade e Planeamento do Território. O seu processamento ocorreu através do *software* Arcgis Pro, permitindo a geração da geometria das

linhas, em formato vetorial, assim como a representação das paragens e os horários de cada linha.

- Levantamento secundário de operadores: Para os restantes operadores, procedeu-se à digitalização vetorial das rotas e paragens com base na informação oficial de horários e itinerários.

3.3. Fase III: Modelação da Acessibilidade Pedonal e Competitividade Modal

A fase final da metodologia consiste na avaliação da acessibilidade real e na comparação da performance entre o transporte público e o transporte individual. Esta etapa recorre a ferramentas avançadas de análises (Network Analyst) e à integração de dados de fontes externas (APIs).

O processo iniciou-se com a construção de um Network Dataset baseado na rede pedonal do OpenStreetMap (OSM). Ao contrário da utilização de raios de distância euclidiana, esta abordagem permitiu delimitar áreas de influência de 400 metros assentes na conectividade das vias. Conforme apontado na literatura, a procura por transporte público não cessa abruptamente ao ultrapassar este limite, vai decrescendo de forma contínua à medida que a distância até à paragem vai aumentando (Hess, 2011; Tennøy et al., 2022). Contudo, a adoção metodológica do limiar dos 400 metros justifica-se por representar a margem de conforto pedonal ideal, abrangendo os 75º percentil das deslocações reais a pé para o transporte público em contextos urbanos semelhantes (Tennøy et al., 2022).

Esta delimitação define a área de serviço efetiva, restringindo a análise subsequente apenas ao edificado com aptidão de acesso pedonal à rede de transportes. Desta forma, as áreas situadas fora destas isócronas são classificadas como zonas de exclusão por distância, onde existe uma tendência de diminuição da captação de utilizadores e, paralelamente, uma maior tendência de crescimento na utilização do automóvel.

Para o cálculo da população abrangida, utilizaram-se como dados primários, as subsecções do INE. Contudo, verificou-se que, em diversas unidades estatísticas, a população estava associada a uma área territorialmente extensa, apesar de o edificado residencial estar concentrado em certa parte deste território. Assim, de modo a ultrapassar esta limitação dos dados populacionais, procedeu-se à estimativa da população em cada edifício aplicando-se um método de mapeamento dasimétrico (Kang & Lee, 2024; Lwin & Murayama, 2009). O Método Volumétrico, apresentado por Lwin e Murayama (2009) define que a população da unidade censitária é distribuída pelos edifícios com base na implementação do edifício e multiplicado pelo número de pisos.

Devido à inexistência de dados oficiais detalhados sobre o número de pisos ou a altura volumétrica de cada edificado no concelho, a distribuição populacional foi calculada de forma ponderada e proporcional à área de implantação de cada unidade residencial dentro das Subsecções Estatísticas (BGRI). Esta simplificação assume uma distribuição homogénea da densidade habitacional por metro quadrado de ocupação do solo.

Para conferir maior precisão ao modelo, integrou-se um Modelo Digital de Terreno (MDT), com o objetivo de associar o declive do terreno a cada segmento. Para proceder ao cálculo deste custo, foi aplicada a Função de Caminhada de Tobler (Tobler, 1993) para converter a distância métrica em custo temporal real, ajustado conforme o esforço imposto pelo declive.

Posteriormente, procedeu-se ao cálculo da acessibilidade final, de modo a identificar a competitividade modal através dos seguintes procedimentos.

- Matriz de Custo O/D: No ArcGIS Pro o tempo total de deslocação em transporte público foi calculado com a soma das duas componentes: o tempo de acesso pedonal até à paragem mais próxima (calculado através do Network Analyst, com ajuste pelo declive através da Função de Caminhada de Tobler) e o tempo de viagem da linha de autocarro entre essa paragem e a paragem do destino pendular considerado. Este segundo valor corresponde ao tempo de percurso extraído diretamente dos dados GTFS de cada operador.

Importa assinalar que este cálculo não contabiliza o tempo de espera entre a chega do utilizador à paragem e a partida efetiva do autocarro, nem podera a frequência ou a variabilidade horária do serviço ao longo do dia. Esta simplificação metodológica foi adotada por uma questão de exequibilidade, mas constitiu uma limitação a assinalar: os tempos de transporte público apresentados correspondem a um cenário de melhor desempenho possível (tempo de viagem em circulação), podendo subestimar o tempo total efetivamente despendido pelo utilizador em condições reais de operação;

- Análise da densidade matricial (oferta vs procura): previamente à modelação detalhada da rede, procedeu-se à análise da densidade bivariada utilizando a grelha estatística de 1km^2 da BGRI (INE). Este processo teve como finalidade normalizar o território e calcular o rácio de interfaces por unidade de área confrontando-o com a densidade de paragens).Este diagnóstico matricial permitiu identificar, a uma escala macro, os locais onde não existe serviço de transporte público rodoviário, assim como áreas de conformidade.
- Modelação do Transporte individual: os tempos de viagem de automóvel foram obtidos através de duas fontes de dados distintas, consoante o destino considerado. Para o trajeto com destido o Pólo Universitário do Porto, recorreu-se à API da Here Techologies, que disponibiliza estimativas de tempo de viagem baseadas em padrões de tráfego histório, permitindo uma aproximação mais realista às condições de congestionamento típicas deste eixo[2]. Para os restantes destinos (Vila Nova de Famalicão, Trofa, Guimarães e Santo Tirso), recorreu-se a uma API de código aberto (OSRM), a qual cálcula os tempos de viagem com base nas velocidades máximas regulamentadas para cada via da rede rodoviária.

[2] A HERE Technologies é uma empresa de dados geoespaciais e de navegação que disponibiliza estimativas de tempo de viagem e condições de tráfego com base em dados de GPS, recolhidos através de uma rede de mais de 170 fornecedores, incluindo veículos conectados, sistemas de navegação, telemática de frotas e dispositivos móveis. Estas observações de velocidade são agregadas em intervalos temporais (tipicamente de 5 minutos) e comparadas com uma referência de velocidade em fluxo livre, permitindo gerar estimativas de tráfego histórico representativas das condições reais de circulação.

Esta opção implica uma assimetria metodológica entre destinos: os tempos obtidos para o Porto refletem condições de circulação real, incluindo eventuais fenómenos de congestionamento, enquanto os tempos calculados para os restantes destinos correspondem a uma cenário de circulação em fluxo livre.

Para automatizar a recolha sistemática dos tempos de viagem junto das respetivas APIs, para o conjunto de edificados residenciais e destinos considerados, foi desenvolvido um script em liguagem *Python*, com apoio de ferramenta de inteligência artificial generativa na fase de programação.

- Análise Comparativa: O cruzamento destes dados permitiu quantificar o diferencial temporal entre os modos e produzir cartografia, identificando as áreas de Santo Tirso onde o sistema de transporte público é competitivo e aquelas onde a dependência do automóvel é estrutural.
- Indicador de Acessibilidade: Para sintetizar a análise comparativa entre os dois modos de transporte, calculou-se um Indicador de Acessibilidade Ponderado, calculado separadamente para o transporte público rodoviário e o transporte individual. O peso de cada destino é proporcional ao volume de fluxos pendulares registados para esse concelho, de forma que os destinos mais relevantes para a população residente tenham maior influência no resultado.

4. Caracterização da área de estudo

4.1. Caracterização e Enquadramento do Município de Santo Tirso

O município de Santo Tirso integra a Área Metropolitana do Porto, localizando-se no extremo nordeste, numa área geográfica de transição entre a AMP, o Cávado, o Ave e o Vale do Sousa, beneficiando ainda da proximidade com o "Pentágono Urbano"[3]. O concelho é limitado a norte por Vila Nova de Famalicão e Guimarães, a nordeste por Vizela e Lousada, a este por Paços de Ferreira, a sul por Valongo, a oeste pela Trofa e a sudoeste pelo concelho da Maia (Figura 1). O concelho, segundo os censos de 2021, conta com 67.709 residentes, distribuídos por 14 freguesias numa área de 136,5 km^2.

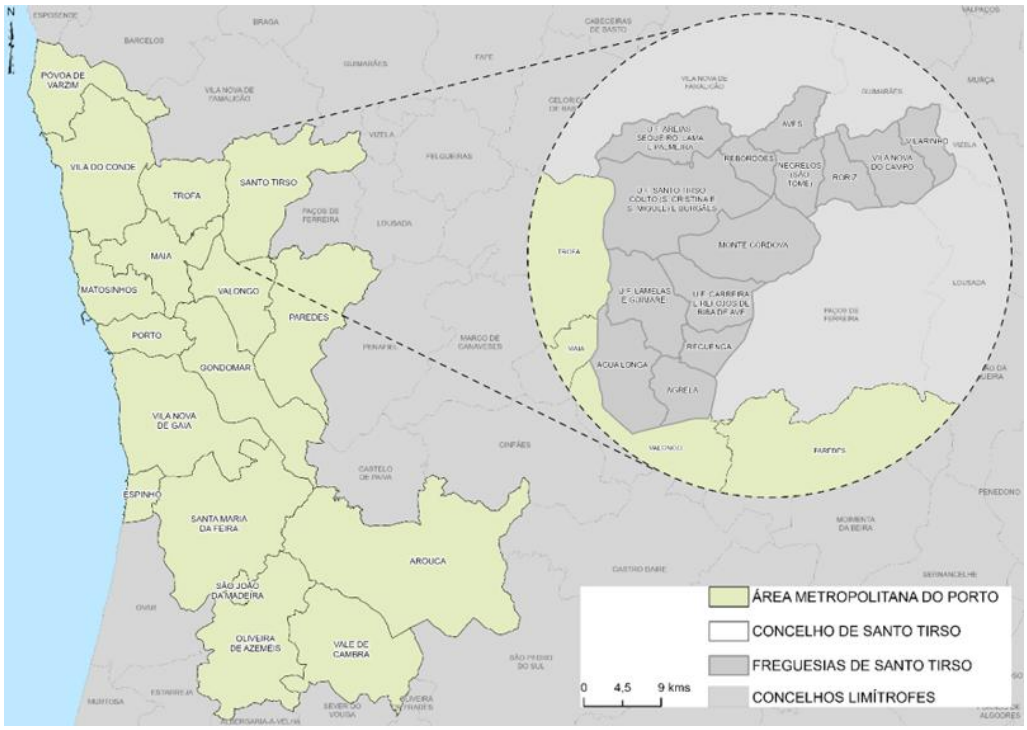


Figura 1. Enquadramento do município de Santo Tirso

Fonte: CAOP 2023

[3] O Pentágono Urbano é uma Associação de Municípios de Fins Específicos que reúne Braga, Guimarães, Barcelos, Vila Nova de Famalicão e Viana do Castelo. A associação esteve origem no "Quadrilátero Urbano", rede criada em 2008 pelos municípios de Barcelos, Braga, Guimarães e Vila Nova de Famalicão, reconhecida como rede urbana para a competitividade e inovação. Em 2025, com a adesão de Viana do Castelo, os estatutos foram atualizados e a associação passou a designar-se Pentágono Urbano.

Santo Tirso ocupa uma área de charneira entre o Grande Porto, o Vale do Ave e o Vale do Sousa, localizando-se maioritariamente na região do Douro Litoral e, de forma residual, na margem direita do Rio Ave. A sua posição geográfica é ainda marcada por uma morfologia diversificada: o concelho caracteriza-se por desigualdades acentuadas de cota, com uma diferença absoluta entre o ponto mais alto (Serra da Agrela e o Planalto de Monte de Córdova) e o ponto mais baixo (junto ao Rio Ave) de 502 metros, e é ainda atravessado por duas bacias hidrográficas principais – a do Rio Ave e a do Rio Leça (Figura 2) – que estruturam o território e condicionam os padrões de ocupação e mobilidade (Conselho Local de Ação Social de Santo Tirso, 2024).

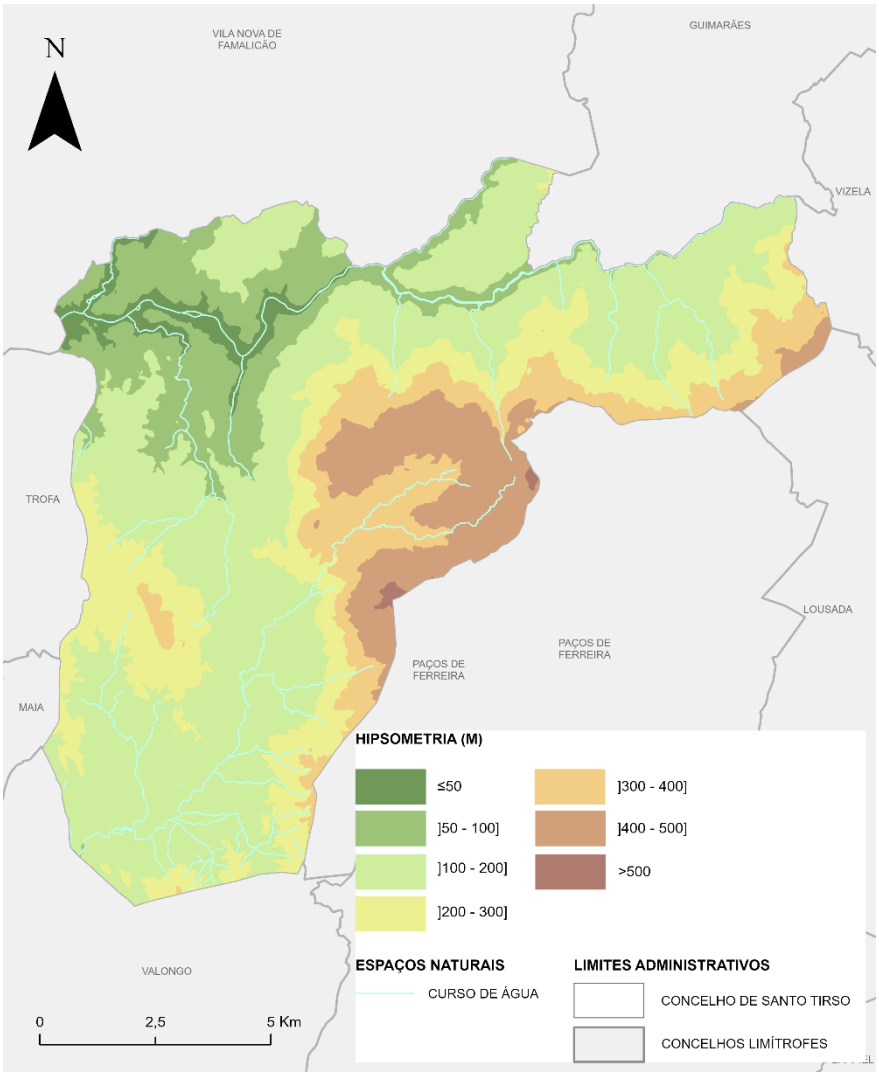


Figura 2. Hipsometria e hidrografia do concelho de Santo Tirso

Fonte: Câmara Municipal de Santo Tirso, 2025; CAOP 2023

Complementando a análise anterior, a Figura 3 representa os declives no concelho de Santo Tirso, evidenciando que a região este do concelho, junto a Paços de Ferreira, Vizela e Lousada, caracteriza-se por apresentar valores mais elevados.

As áreas de menor altitude, sobretudo ao longo dos principais vales e das áreas de transição para o setor ocidental do concelho, apresentam, de forma geral, declives menos pronunciados. Estas áreas correspondem a territórios com condições topográficas mais favoráveis à circulação pedonal e ciclável, enquanto os setores onde predominam declives mais elevados poderão constituir uma condicionante adicional à deslocação em modos suaves.

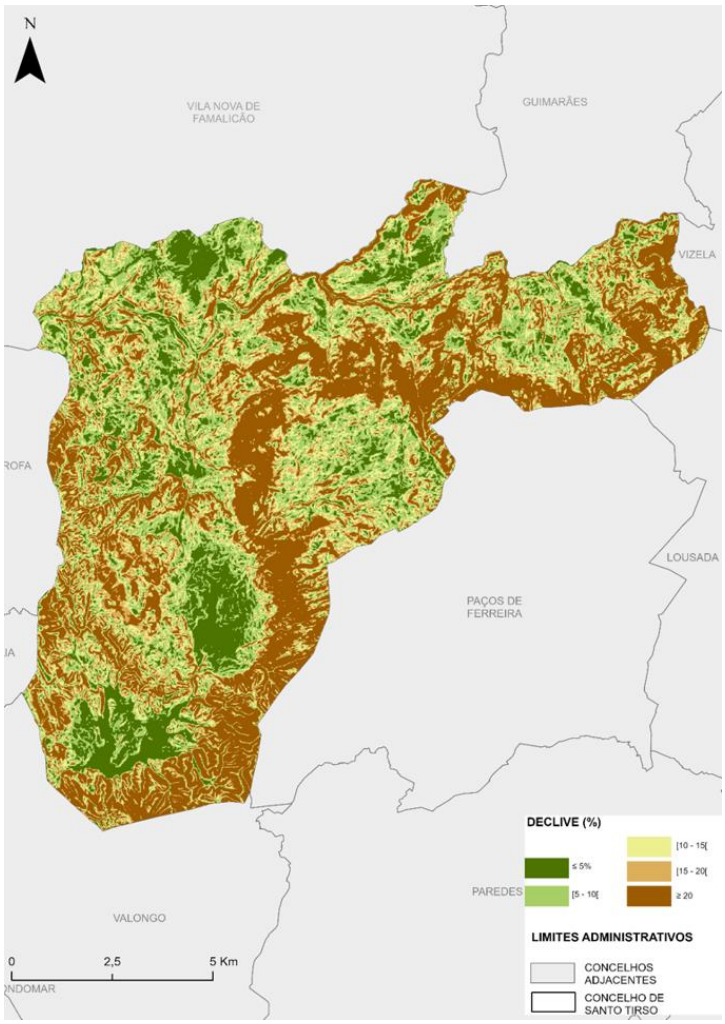


Figura 3. Declives no concelho de Santo Tirso

Fonte: Câmara Municipal de Santo Tirso, 2025; CAOP,2023

No que diz respeito às infraestruturas rodoviárias que servem o concelho (Figura 4), denota-se a existência de dois eixos de elevada capacidade. A oeste o, IP1/A3 assegura a ligação ao norte de Portugal, entre Valença e Porto; a sul do concelho, o IC24/A41 estabelece a ligação entre Espinho e Matosinhos.

Quanto à rede de menor capacidade, destaca-se a EN105, que atravessa o concelho na direção SO-NE, efetuando a ligação entre os concelhos do Porto e Guimarães. Desta deriva a EN104, fazendo a ligação entre os concelhos de Santo Tirso, Trofa e Vila do Conde. Já na região norte do concelho a EN204 assegura a ligação a Vila Nova de Famalicão, enquanto a EN 209-2, a ER319 e a ER 207 terminam em Paços de Ferreira.

Deste modo, ao nível das infraestruturas rodoviárias, o concelho de Santo Tirso destaca-se pela proximidade a dois eixos estruturantes de elevada capacidade – o IP1/A3 e o IC24/A41 –, que lhe garantem uma boa acessibilidade rodoviária a nível regional e nacional, bem como uma rede secundária que assegura uma cobertura abrangente das ligações aos concelhos vizinhos.

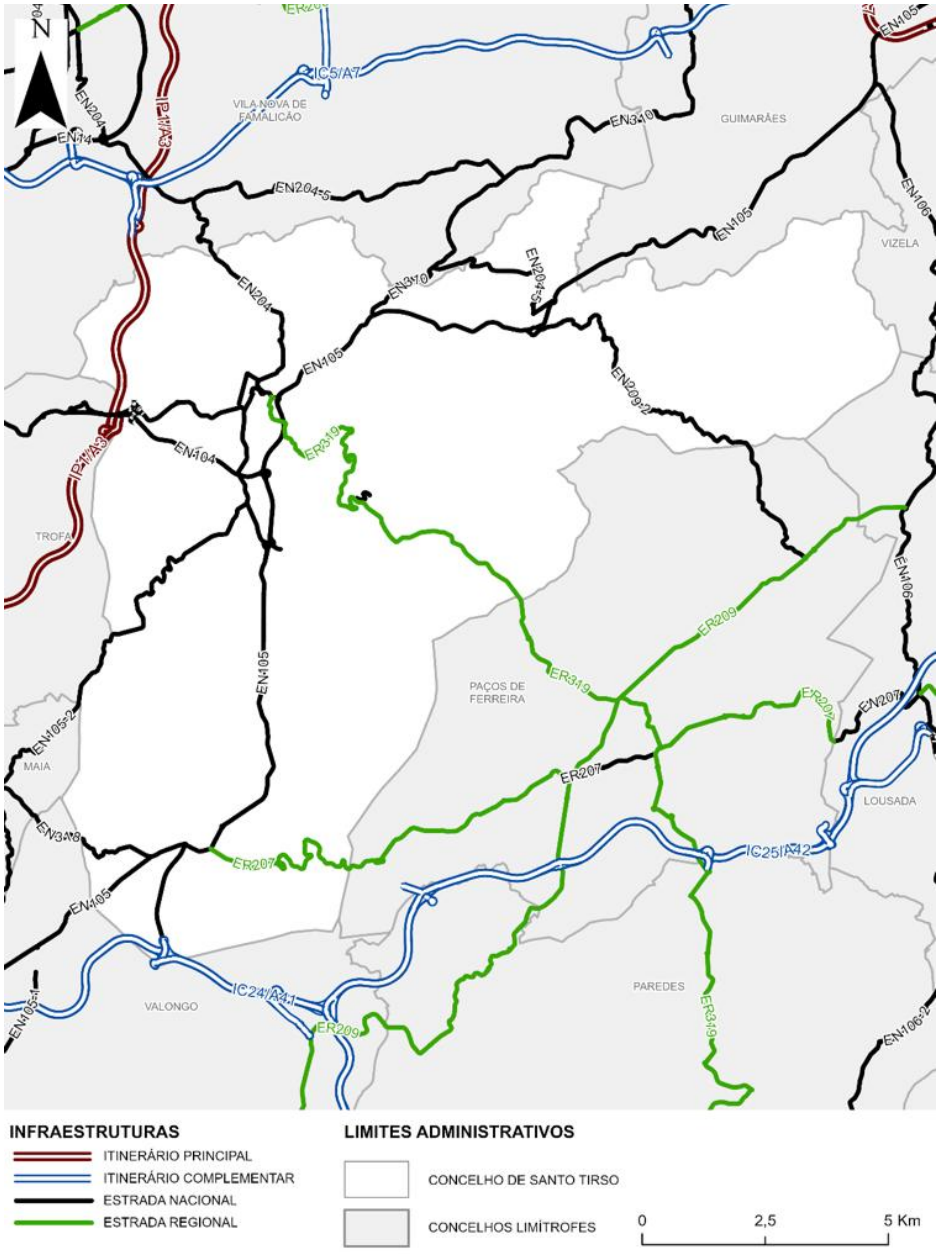


Figura 4. Infraestruturas rodoviárias no concelho de Santo Tirso

Fonte: CAOP, 2023; Infraestruturas de Portugal, 2026

A Figura 5 representa o enquadramento urbano do município de Santo Tirso, evidenciando a distribuição espacial das principais funções urbanas e atividades económicas no território concelhio. A análise do mapa permite identificar uma assimetria entre a metade ocidental e a metade oriental do concelho: enquanto a zona oeste concentra a grande maioria das áreas industriais e dos equipamentos de

serviços, a zona este apresenta um carácter predominantemente rural, com a reduzida consolidação de uso urbano consolidado.

A concentração de áreas industriais é particularmente expressiva nas freguesias adjacentes à sede do concelho, onde se identificam os principais núcleos de atividade económica do município. Os equipamentos culturais, desportivos e de lazer distribuem-se de forma mais dispersa pelo território, com destaque para a sede de concelho.

Esta estrutura urbana polarizada, com a atividade económica e os serviços concentrados na metade ocidental do concelho, constitui um elemento relevante para compreender os padrões de mobilidade pendular, nomeadamente a maior propensão para deslocações por parte das freguesias mais afastadas dos principais polos de emprego e serviços do município.

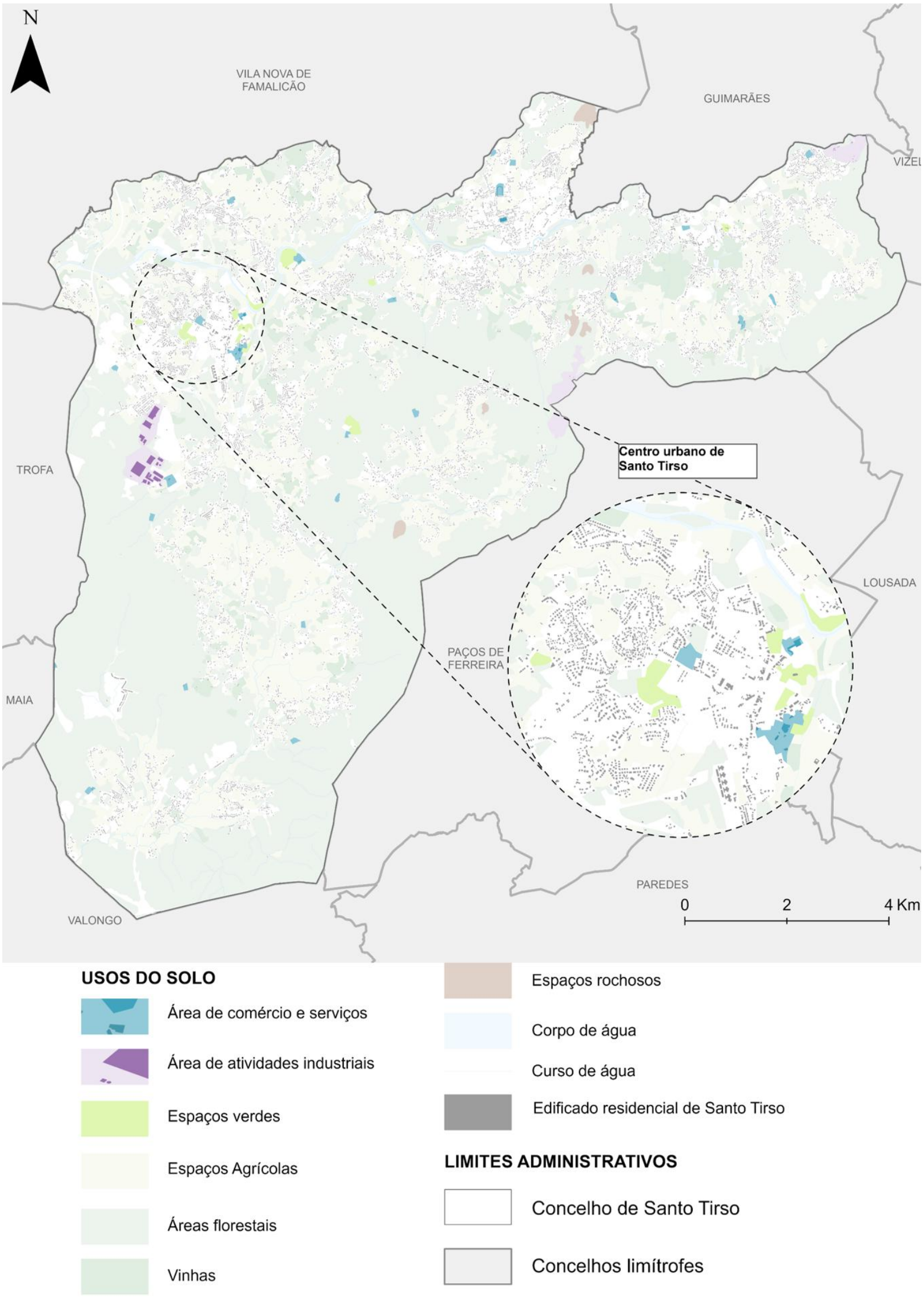


Figura 5. Enquadramento urbano de Santo Tirso

Fonte: CAOP 2023; COS 2023

Segundo a Figura 6, o concelho de Santo Tirso apresenta uma maior concentração populacional na região norte, com destaque para a freguesia das Aves, cuja proximidade aos concelhos de Vila Nova de Famalicão e Guimarães – dois polos industriais e urbanos do noroeste de Portugal, integrados na região do Minho – potencia a sua dinâmica demográfica e económica.

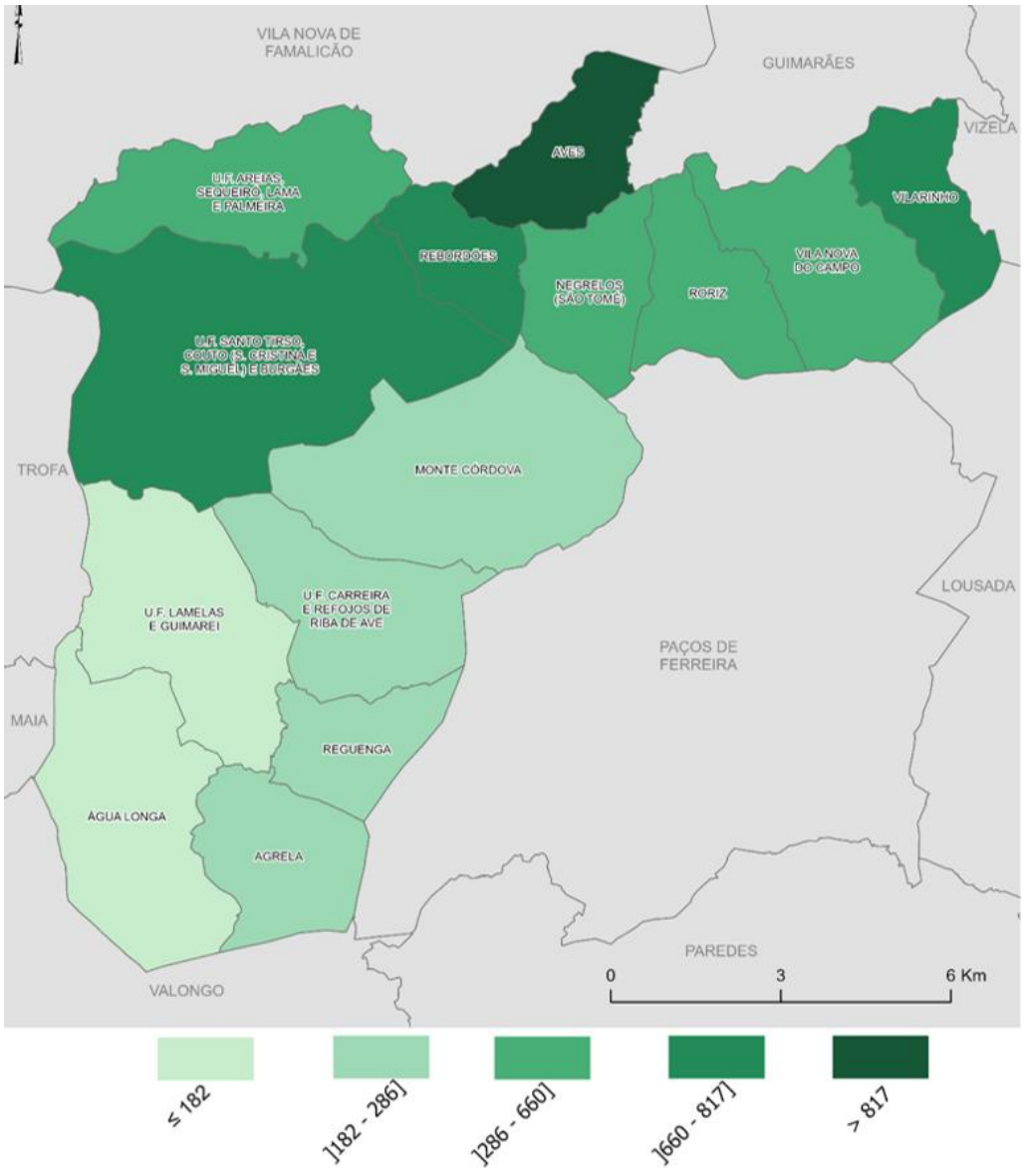


Figura 6. Densidade populacional por freguesias

Fonte: CAOP 2023; INE 2021

Em sentido oposto, as freguesias com menor densidade são a União de freguesias de Lamelas e Guimarei (126,2 hab/km^2) e Água Longa (181,8 hab/km^2), ambas localizadas nas áreas mais periféricas e de carácter predominantemente rural do concelho.

Verifica-se que, em 2021, os núcleos mais populosos correspondem aos centros urbanos de Santo Tirso, Aves e Vila Nova do Campo, reforçando a concentração demográfica na metade norte do concelho, associada a uma maior centralização de atividades empresariais e de serviços.

4.2. Padrões de Mobilidade

A análise dos padrões de mobilidade à escala metropolitana, municipal e de freguesia constitui um elemento fulcral para a compreensão das dinâmicas de deslocação da população. O estudo destes fluxos, embora agregados, permite identificar as principais tendências e condicionantes da acessibilidade territorial, bem como aferir a relação entre os diversos modos de transporte e a sua eficácia na resposta às necessidades dos residentes.

As especificidades morfológicas e demográficas de cada área influenciam de forma determinante as opções de deslocação. Neste sentido, a abordagem metodológica adotada procura caracterizar estas dinâmicas de forma sistemática.

No caso de Santo Tirso, a análise dos fluxos da população residente, estudante e ativa revela-se estratégica. Esta avaliação possibilita a identificação das disfunções na acessibilidade entre freguesias e a aferição da eficiência da oferta de transporte público, identificando oportunidades para uma gestão mais equilibrada e sustentável das deslocações no concelho.

Deste modo, a construção de um território mais resiliente e adaptado às exigências da mobilidade contemporânea exige um compromisso inequívoco com a investigação e análise sistemática dos padrões de deslocação, garantindo que as políticas implementadas sejam fundamentadas em dados robustos e orientadas para a prossecução de uma mobilidade verdadeiramente sustentável e inclusiva.

4.2.1. Movimentos Pendulares à Escala Metropolitana

A análise dos padrões de mobilidade pendular à escala da Área Metropolitana do Porto constitui um enquadramento essencial para contextualizar o posicionamento de Santo Tirso face aos restantes municípios que a integram, permitindo identificar disparidades territoriais e aferir em que medida a dependência do transporte individual é uma problemática transversal ao território metropolitano.

Conforme ilustrado na Figura 7 e sistematizado na Tabela 2, o automóvel é o modo de transporte predominante em todos os municípios da AMP. Os valores mais elevados de dependência automóvel registam-se em Oliveira de Azeméis e Vale de Cambra (80% em ambos) e em Santa Maria da Feira (79%), municípios localizados na periferia sul da AMP. Em sentido oposto, o Porto (54%) e Espinho (63%) apresentam os valores mais reduzidos na utilização do automóvel privado, enquanto ambos registam um peso de 22% no modo pedonal, correspondendo aos valores mais elevados da AMP.

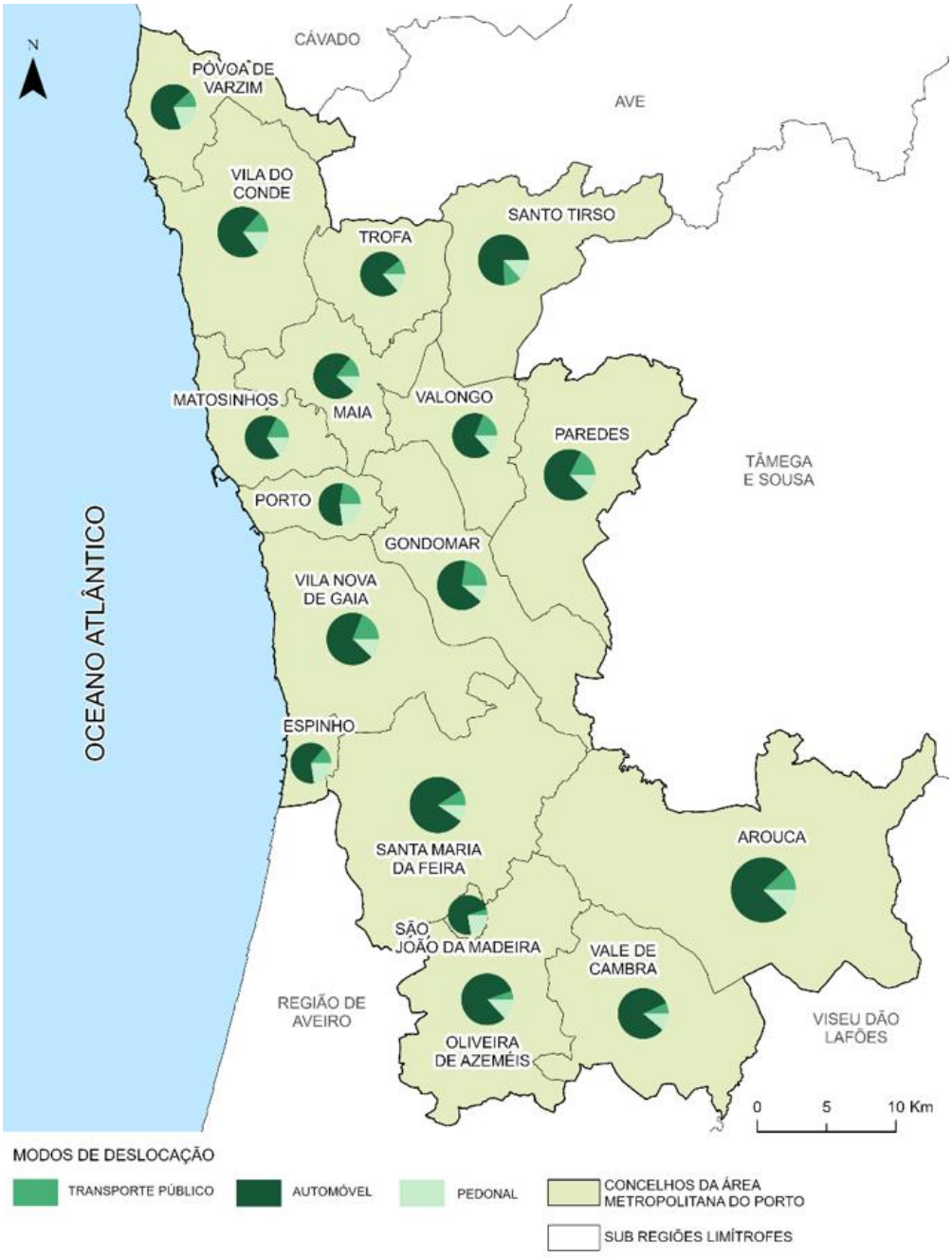


Figura 7. Modo de deslocação nos movimentos pendulares na AMP

Fonte: CAOP 2023; INE 2021

Tabela 2. Modo de transporte utilizado nos movimentos pendulares na AMP

Concelhos	%automóvel	%transporte público	%pedonal
Arouca	74%	12%	12%
Espinho	63%	13%	22%
Gondomar	65%	22%	11%
Maia	73%	14%	11%
Matosinhos	66%	17%	15%
Oliveira de Azeméis	80%	5%	13%
Paredes	69%	17%	12%
Porto	54%	22%	22%
Póvoa de Varzim	66%	12%	19%
Santa Maria da Feira	79%	9%	10%
Santo Tirso	74%	11%	13%
São João da Madeira	72%	5%	22%
Trofa	74%	11%	13%
Vale de Cambra	80%	7%	11%
Valongo	67%	19%	13%
Vila do Conde	70%	13%	14%
Vila Nova de Gaia	68%	19%	12%

Fonte: INE, 2021

No que respeita ao transporte público, Porto e Gondomar destacam-se com 22% das deslocações realizadas neste modo, por outro lado, Oliveira de Azeméis e São João da Madeira registam os valores mais baixos, com apenas 5%.

Neste contexto metropolitano, Santo Tirso apresenta 74% das deslocações pendulares realizadas em automóvel, valor superior ao de concelhos como Gondomar (65%), Matosinhos (66%) e Paredes (69%), posicionando-se entre os municípios com maior dependência do transporte individual na AMP. Relativamente ao transporte público, com apenas 11% das deslocações realizadas por este modo – valor partilhado com a Trofa –, Santo Tirso situa-se entre os municípios com menor adesão ao transporte coletivo na AMP, o que justifica uma análise mais aprofundada dos padrões de mobilidade do concelho.

4.2.2. Movimentos Pendulares à Escala Concelhia

Entre 2011 e 2021, o município de Santo Tirso registou uma diminuição de 10% na população residente que realiza deslocações pendulares para fins laborais ou educativos. Esta redução é, em parte, explicada pela contração demográfica do próprio município, que viu a sua população residente diminuir de 71.530 para 67.709 habitantes no mesmo período.

A análise da estrutura interna dos movimentos pendulares (Tabela 3) revela uma transformação mais significativa do que a simples variação do volume total. Em 2011, as deslocações intraconcelhias representavam 72% do total dos movimentos pendulares, correspondendo as interconcelhias aos restantes 28%. Em 2021, esta distribuição alterou-se de forma assinalável: as deslocações intraconcelhias passaram a representar apenas 60% do total, enquanto as interconcelhias aumentaram o seu peso para 40%. Esta recomposição estrutural sugere uma crescente orientação dos fluxos pendulares para fora dos limites do município, com implicações diretas na procura e adequação da oferta de transporte público intermunicipal.

Tabela 3. Variação da população residente no concelho de Santo Tirso (empregada ou estudante) por local de trabalho ou estudo (2011-2021)

Concelho	População Residente		População Residente que realiza deslocações pendulares				População que realiza deslocações intraconcelhias		População que realiza deslocações interconcelhias	
	2011	2021	2011	%	2021	%	2011	2021	2011	2021
Santo Tirso	71.530	67.709	40.362	56 %	36.349	54 %	29.203	21.627	11.159	14.650
	Variação (%)		-10%				-26%		31%	

Fonte: INE, 2011 e 2021

A Figura 8 ilustra os principais destinos das deslocações pendulares interconcelhias realizadas pelos residentes de Santo Tirso para fins laborais ou educativos em 2021. No que respeita às saídas do concelho, Vila Nova de Famalicão constitui o destino mais expressivo, com 2.621 residentes a deslocarem-se diariamente, correspondendo a

17,8% do total dos movimentos pendulares interconcelhios. Este valor reflete a forte relação de proximidade geográfica entre os dois territórios. O concelho do Porto surge em segundo lugar, com 2.409 residentes (16,4%), evidenciando a atratividade do principal centro urbano da Área Metropolitana do Porto. Completam os destinos de maior relevância os concelhos da Trofa, da Maia e de Vila Nova de Gaia, cujos valores, embora inferiores, reforçam a orientação predominante metropolitana dos fluxos pendulares interconcelhios originados em Santo Tirso.

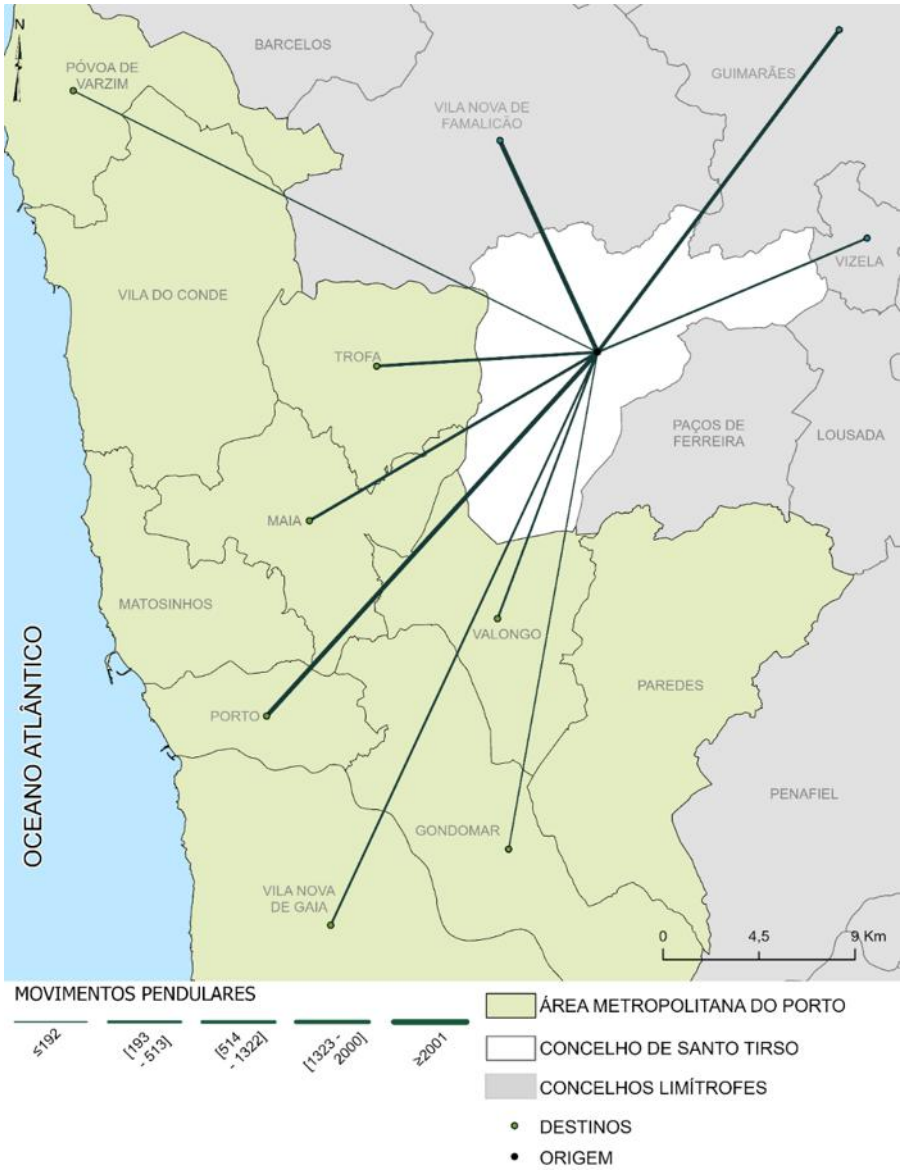


Figura 8. Principais saídas de movimentos pendulares do concelho de Santo Tirso em 2021

Fonte: CAOP, 2023; INE, 2021

A Tabela 4 apresenta a evolução dos movimentos pendulares interconcelhios com origem em Santo Tirso entre 2011 e 2021. Verifica-se que os concelhos de Vila Nova de Gaia, Gondomar e Póvoa do Varzim registam crescimentos relativos mais expressivos, contudo, estas variações traduzem-se em acréscimos absolutos modestos.

Mais relevante é o comportamento do concelho do Porto, com uma variação de 16,1%, representando um acréscimo de 828 residentes. Este resultado sugere um crescimento relevante na centralidade do Porto nos padrões de mobilidade do concelho de Santo Tirso. Em sentido inverso, Trofa (-21,6%), Guimarães (-17,4%) e Vila Nova de Famalicão (-13,3%) registam as maiores perdas do peso relativo, ainda que se mantenham, em termos absolutos, entre os principais destinos de deslocações pendulares do concelho. Vila Nova de Famalicão continua a ser o destino mais expressivo em 2021 (17,9%), apesar da perda de peso relativo a 2011. Este padrão sugere uma ligeira reorientação dos fluxos pendulares no sentido do centro da Área Metropolitana do Porto, em detrimento dos concelhos vizinhos de menor dimensão.

Tabela 4. Principais concelhos de destino das deslocações pendulares dos residentes de Santo Tirso, 2011 e 2021

Concelho de destino	2021	2021 (%)	2011	2011 (%)
Vila Nova de Gaia	513	3,5%	178	1,6%
Gondomar	193	1,3%	77	0,7%
Póvoa de Varzim	122	0,8%	56	0,5%
Porto	2.409	16,4%	1.581	14,2%
Outros	3.730	25,5%	2.508	22,5%
Maia	891	6,1%	614	5,5%
Valongo	454	3,1%	361	3,2%
Vila Nova de Famalicão	2.621	17,9%	2.304	20,6%
Vizela	395	2,7%	350	3,1%
Guimarães	2.000	13,7%	1.845	16,5%
Trofa	1.322	9,0%	1.285	11,5%

Fonte: INE, 2011; INE, 2021

O Gráfico 1 apresenta a distribuição da população residente em Santo Tirso segundo o tempo despendido nas deslocações pendulares. Os dados revelam que a esmagadora maioria dos movimentos pendulares – 87,8% – realiza deslocações com duração igual ou inferior a 30 minutos, sendo que 58,6% não ultrapassa os 15 minutos. As deslocações superiores a 30 minutos representam apenas 12,2% do total, com uma expressão residual nos escalões mais elevados (1,2% entre 61 e 90 minutos e 0,6% acima dos 90 minutos).

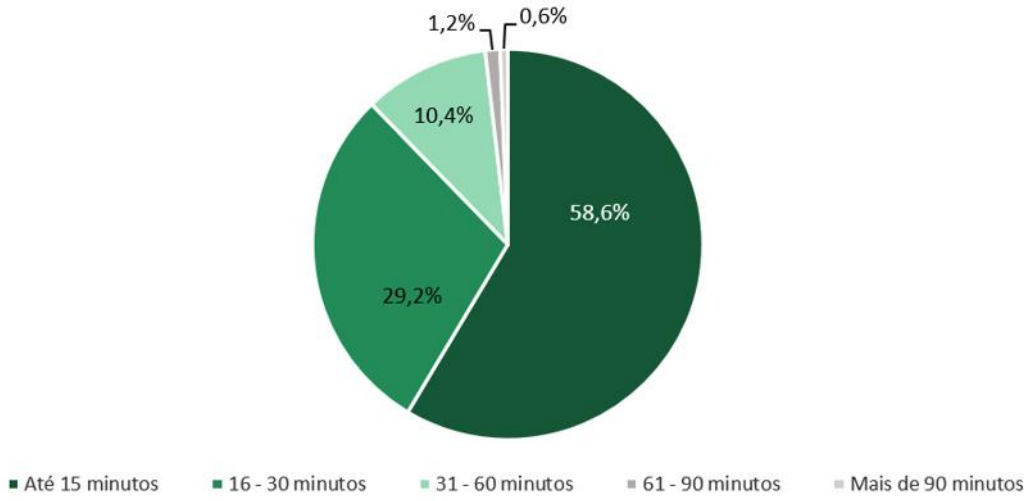


Gráfico 1. População residente no concelho de Santo Tirso que realiza viagens, segmentado por tempo de deslocação (2021)

Fonte: INE, 2021

O Gráfico 2 demonstra que o automóvel constitui o modo de transporte amplamente dominante em ambos os momentos de análise, tendo a sua expressão aumentado de forma assinalável, passando de 64,7% em 2011 para 73,9% em 2021.

Em sentido inverso, tanto as deslocações a pé (de 17,7% para 13%) como a utilização do transporte coletivo (de 15,5% para 11,5%) registaram descidas no mesmo período. Os restantes modos – motociclo, bicicleta e outros – mantiveram uma expressão marginal, sem alterações significativas entre os dois anos.

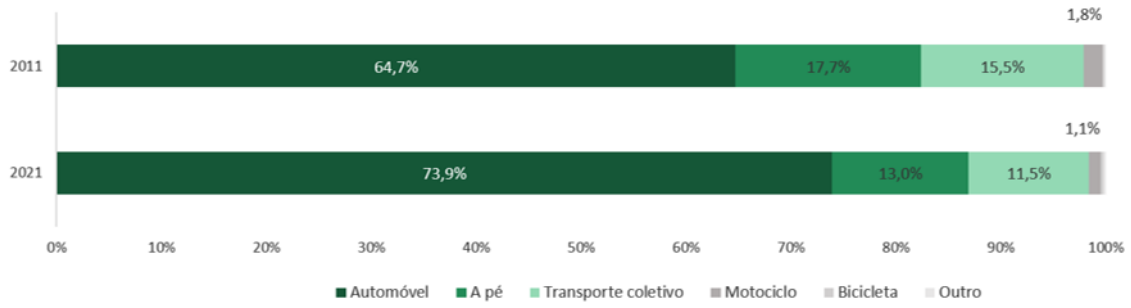


Gráfico 2. Repartição modal das deslocações pendulares da população residente no concelho de Santo Tirso

Fonte: INE, 2021

A Tabela 5 sistematiza os movimentos pendulares que decorrem no município de Santo Tirso, discriminando a população empregada e estudante segundo a origem e o destino das deslocações. Do total de 48.324 indivíduos que realizam movimentos pendulares com destino ao concelho de Santo Tirso, 75% (36.349 residentes) deslocam-se de Santo Tirso para outro concelho, o que confirma o carácter predominante emissor do concelho. Em sentido inverso, apenas 25% (11.975 indivíduos) deslocam-se de outro concelho com destino a Santo Tirso.

No que respeita à natureza das deslocações, a mobilidade laboral é claramente dominante em ambos os fluxos. Entre os residentes que saem de Santo Tirso, 74% fazem-no por motivos profissionais e 26% por motivos escolares. Entre os que entram no concelho prevenientes de outros territórios, a proporção laboral é ligeiramente superior, atingindo 77%, contra 23% de estudantes.

Tabela 5. Movimentos pendulares da população residente de Santo Tirso, discriminados por população empregada e estudante

Origem		Outro Concelho	Santo Tirso	Total
Destino		Santo Tirso	Outro Concelho	
População Empregada	Núm.	9.248	11.768	21.016
	%	77%	80%	79%

Origem		Outro Concelho	Santo Tirso	Total
Destino		Santo Tirso	Outro Concelho	
População Estudante	Núm.	2.727	2 882	5.609
	%	23%	20%	21%
População que realiza deslocações pendulares		11.975	14.650	26.625
Peso total da População que realiza deslocações pendulares		45%	55%	100%

Fonte: INE, 2021

4.2.3. Movimentos Pendulares à Escala da Freguesia

A Figura 9 apresenta a repartição das deslocações pendulares por freguesia de residência, segundo três destinos possíveis: a própria freguesia, outra freguesia do mesmo município, ou um município distinto. Esta desagregação permite ir além de uma leitura agregada ao nível concelhio, revelando padrões de dependência territorial distintos entre freguesias.

Em primeiro lugar, é evidente um efeito de centralidade urbana: a União das Freguesias de Santo Tirso, Couto (Santa Cristina) e Burgães regista a maior taxa de retenção interna (45,3%), seguida da freguesia das Aves (36,2%) — valores muito superiores aos das restantes freguesias, onde a retenção raramente ultrapassa os 25%. Este resultado é consistente com a concentração de emprego, comércio e serviços na sede de concelho, que assim funciona como principal polo autónomo de atração de deslocações.

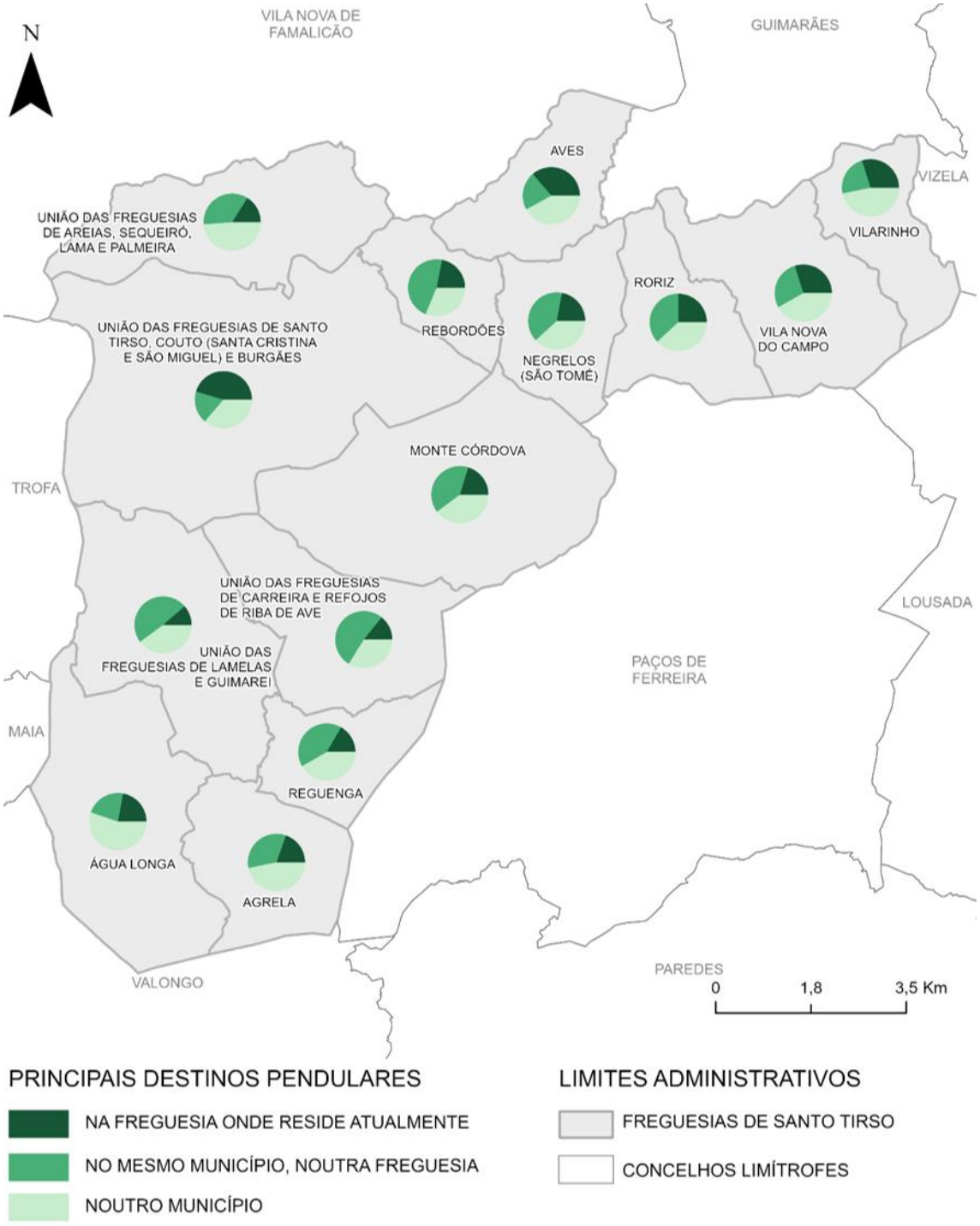


Figura 9. Distribuição dos principais destinos pendulares a partir das freguesias do concelho de Santo Tirso (2021)

Fonte: CAOP, 2023; INE, 2021

Mais relevante para efeitos de planeamento é a distinção entre dois padrões de dependência externa que a categoria "saída da freguesia" agrega, mas que correspondem a necessidades de mobilidade distintas. Um primeiro grupo de freguesias — de que são exemplo Rebordões (46,6%) e a União das Freguesias de Carreira e Refojos de Riba de Ave (51,9%) — apresenta elevada dependência intramunicipal associada a uma dependência externa comparativamente contida (31,2% e 33,8%, respetivamente), sugerindo uma polarização das deslocações em torno da sede de concelho. Um segundo grupo — Água Longa (55,1%), a União das Freguesias de Areias, Sequeiró, Lama e Palmeira (48,7%) e Vilarinho (46,7%) — apresenta o padrão inverso: uma dependência externa dominante, indicando que uma parte substancial da população se desloca diretamente para fora do concelho.

A Figura 10 complementa a análise anterior ao introduzir a dimensão temporal das deslocações pendulares. Na generalidade das freguesias, entre 50% e 63% das deslocações são realizadas em até 15 minutos, sugerindo tempos de deslocação globalmente contidos. A freguesia de Água Longa destaca-se como exceção: apresenta menor proporção até 15 minutos (41,5%) e a maior proporção de 16-30 minutos (43,6%), configurando o perfil de deslocação mais penalizado no concelho.

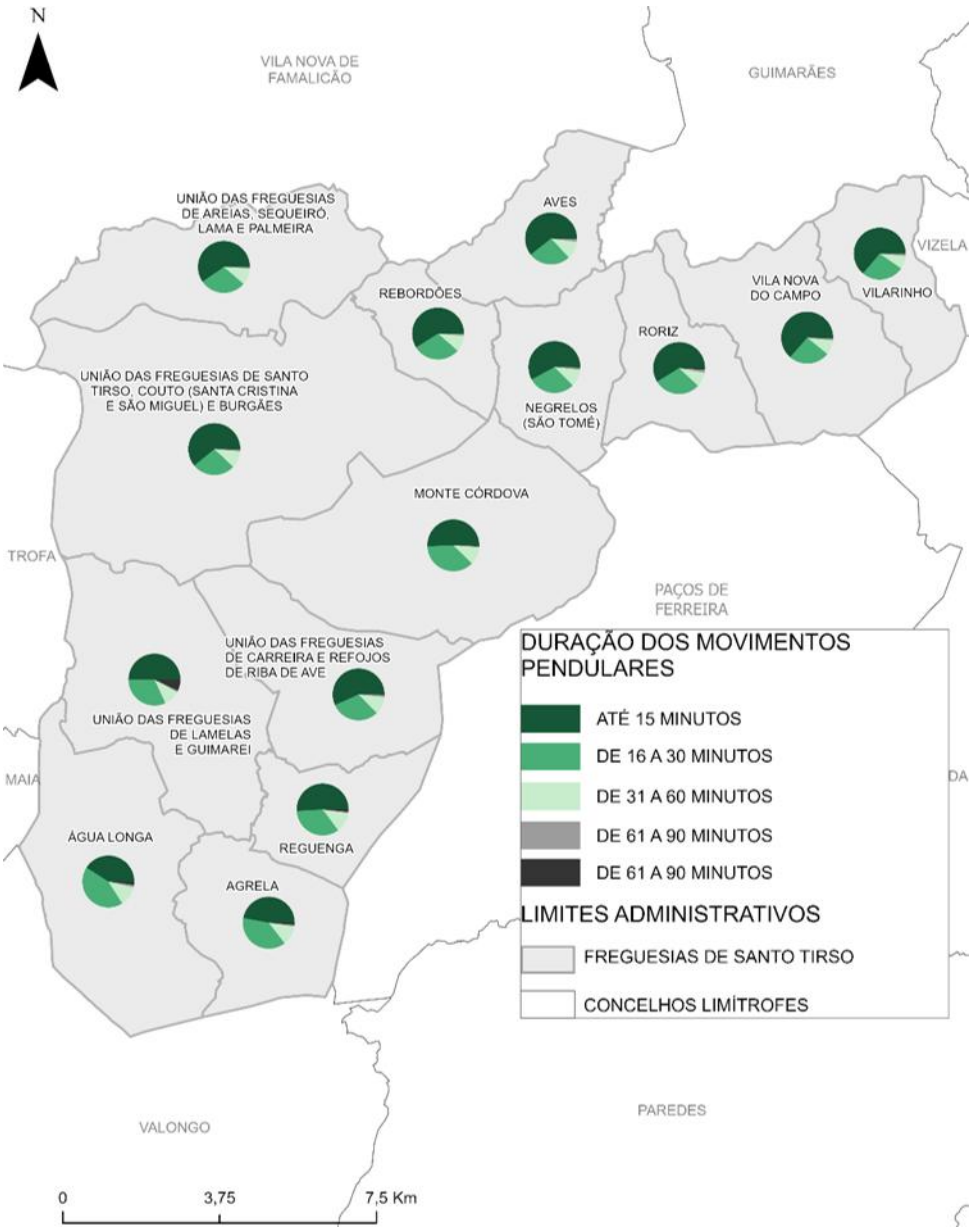


Figura 10. População residente que realiza viagens, por freguesia, segmentado por tempo de deslocação.

Fonte: CAOP, 2023; INE, 2021

Este resultado ganha mais relevância quando cruzado com a análise anterior de destinos de deslocações. Embora Água Longa e Vilarinho apresentem ambas elevada dependência de deslocações para fora do concelho, o seu tempo diverge significativamente: Vilarinho mantém uma das proporções mais elevadas de deslocações até 15 minutos (63,4%), o que sugere que a sua dependência externa

decorre da proximidade ao centro urbano vizinho (Vizela). Água Longa, pelo contrário, combina dependência externa com tempos de deslocação mais longos, configurando um perfil de periferia efetivamente mais penalizada.

Um padrão semelhante ao de Água Longa, embora menos acentuado, observa-se em Agrela: com 46,7% das deslocações a terem como destino um município distinto. Esta freguesia surge associada à segunda maior proporção na faixa dos 16-30 minutos (38,7%) do concelho. Agrela configura-se, assim, como um segundo caso de dependência externa penalizada pela distância.

A Tabela 6 apresenta a distribuição modal das deslocações pendulares por freguesia, evidenciando uma dependência do automóvel transversalmente elevada, entre 67% e 82% consoante a freguesia.

Tabela 6. Repartição modal da população residente, por freguesias, no concelho de Santo Tirso (2021)

Freguesia	% Automóvel	% Transporte público	% Pedonal	% Outros
Agrela	78%	12%	9%	0,4%
Água Longa	76%	15%	8%	0,1%
Aves	74%	10%	14%	0,4%
Monte Córdova	77%	14%	7%	0,5%
Negrelos (São Tomé)	74%	13%	11%	0,1%
Rebordões	77%	12%	10%	0,1%
Reguenga	77%	14%	7%	0,4%
Roriz	70%	14%	14%	0,2%
União das freguesias de Areias, Sequeiró, Lama e Palmeira	78%	10%	10%	0,2%
União das freguesias de Carreira e Refojos de Riba de Ave	82%	11%	5%	0,3%
União das freguesias de Lamelas e Guimarei	79%	14%	5%	0,5%
União das freguesias de Santo Tirso, Couto (Santa Cristina e São Miguel) e Burgães	73%	9%	17%	0,2%
Vila Nova do Campo	69%	14%	15%	0,3%
Vilarinho	67%	14%	17%	0,0%

Fonte: INE, 2021

Note-se, contudo, um resultado que contraria a associação habitual entre centralidade urbana e maior utilização de transporte público: a União das Freguesias de Santo Tirso, Couto (Santa Cristina) e Burgães, correspondente à sede de concelho, regista a menor quota de transporte público de todo o território (9%), associada à maior quota de deslocações pedonais (17%). Este resultado é consistente com a curta duração das deslocações identificada anteriormente para esta freguesia, sugerindo que a proximidade entre residência e destino torna o modo pedonal mais competitivo do que o transporte público, e não que este último seja particularmente deficitário na sede.

Por outro lado, o caso de Água Longa merece uma leitura mais cuidadosa à luz das análises anteriores. Apesar de ter sido identificada como a freguesia com o perfil de deslocação mais penalizado em termos de tempo, apresenta paradoxalmente a maior quota de utilização de transporte público do concelho (15%). Esta combinação sugere que a penalização identificada não decorre de uma ausência de oferta de transporte público, mas antes da sua reduzida competitividade temporal — isto é, de um serviço existente, mas lento, e não de uma situação de exclusão total. Já a União das Freguesias de Carreira e Refojos de Riba de Ave, com a maior dependência do automóvel (82%) e a menor quota pedonal (5%), confirma o perfil de dependência intramunicipal identificado anteriormente.

4.3. Análise da oferta de transportes coletivos de passageiros no concelho

No que respeita à oferta de transportes, o concelho de Santo Tirso é atualmente servido por quatro sistemas de mobilidade no modo rodoviário, aos quais acresce o serviço ferroviário (Figura 11).

O serviço de transporte urbano no concelho de Santo Tirso é assegurado pela Mobiave, sendo responsável também pela ligação entre os municípios de Santo Tirso, Trofa e Vila Nova de Famalicão (Anexo 1). A rede urbana integra um total de 26 linhas a operar dentro do território tirsense, garantindo a cobertura de várias freguesias e zonas habitacionais.

No âmbito metropolitano, o concelho é abrangido por 19 linhas da Unir (Anexo 2), assegurando a conectividade com os demais concelhos da AMP, bem como municípios limítrofes pertencentes à CIM do Tâmega e Sousa, como as ligações a Paços de Ferreira, Lousada e Felgueiras ou pertencentes à CIM do Ave, no caso de Guimarães.

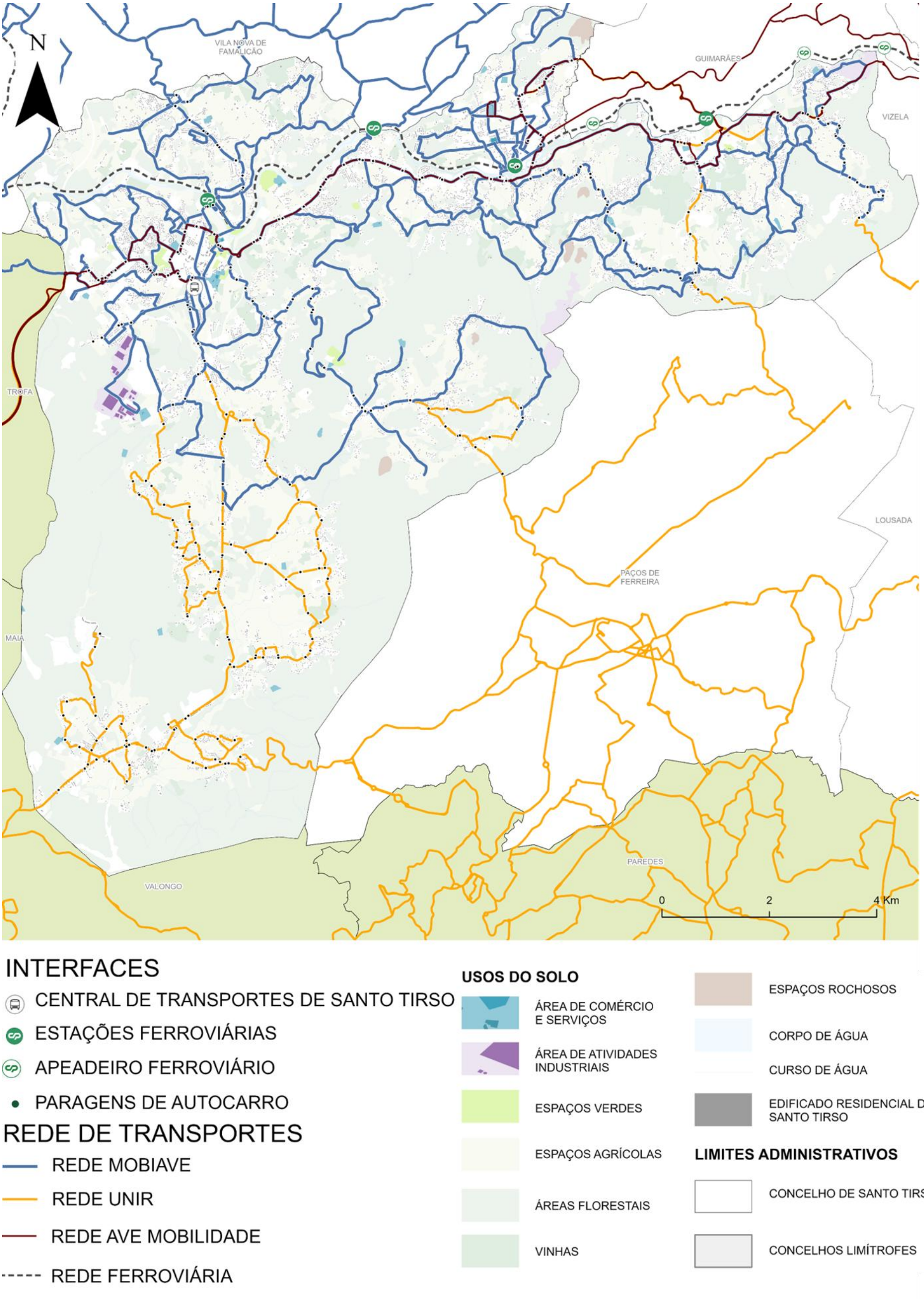


Figura 11. Rede transporte público no concelho de Santo Tirso

Fonte: CAOP 2023; COS, 2023; UNIR, 2025; Ave Mobilidade, 2025; Câmara Municipal de Santo Tirso, 2025

Por fim, o sistema Ave Mobilidade, integrado na CIM Ave, disponibiliza uma linha intermunicipal com origem em Felgueiras (ou Vizela) e destino no Porto, passando por Santo Tirso e tirando partido da posição estratégica da A3 que atravessa o concelho[4] (Figura 12).

[4] Para além da linha 9801 da Ave Mobilidade, a linha 6601 da Unir também faz a ligação entre Santo Tirso e o Polo Universitário (Porto) pela A3

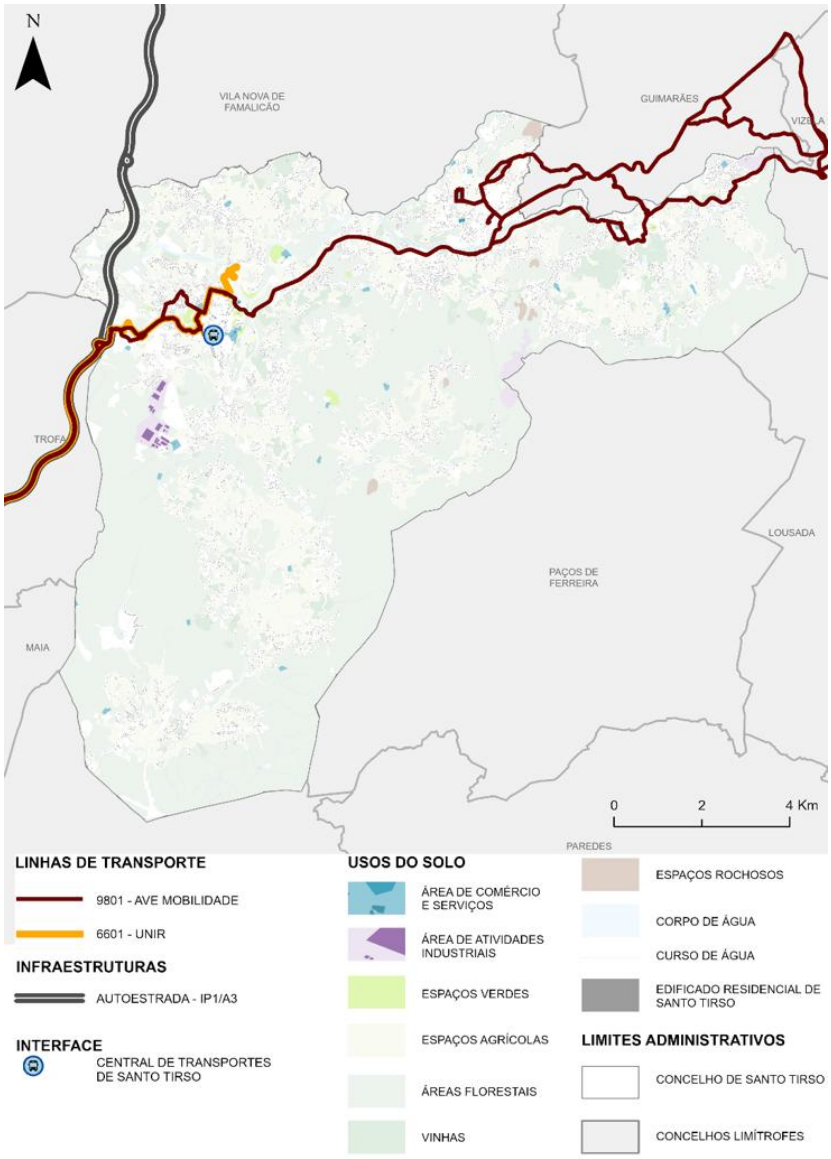


Figura 12. Linhas de autocarro que fazem a ligação entre Santo Tirso e Polo Universitário (Porto) pela A3

Fonte: CAOP, 2023; COS, 2023; UNIR, 2025; Ave Mobilidade, 2025; Infraestruturas de Portugal, 2026

No que respeita ao modo ferroviário, Santo Tirso é servido pela Linha de Guimarães (comboios urbanos do Porto), com ligações diárias entre Guimarães e Porto – São Bento. Adicionalmente, o concelho é atravessado pela ligação Intercidades entre Guimarães e Lisboa – Santa Apolónia, embora com uma oferta de serviço mais reduzida.

5. Análise do serviço de transportes

5.1. Rede de autocarros e oferta de paragens de transporte público rodoviário no concelho de Santo Tirso

A representação cartográfica da rede de autocarros permite identificar assimetrias na cobertura territorial, assim como os eixos de maior conectividade. Como explicado anteriormente, a conversão da informação operacional (dados GTFS) para ambiente SIG possibilitou a espacialização rigorosa das paragens e percursos, sendo a base para o diagnóstico.

A rede Mobiave evidencia uma forte presença de paragens ao longo do eixo Santo Tirso – Vila das Aves. Além disto, a representação cartográfica revela também a natureza linear da oferta, que se concentra, principalmente, ao longo dos principais corredores rodoviários. Esta distribuição acentua o problema de acessibilidade pedonal até à paragem mais próxima, visto que, em territórios dispersos, as paragens raramente coincidem com o ponto de partida inicial dos utilizadores.

No que diz respeito à rede da Unir, verifica-se uma distribuição menos densa no território, com uma cobertura assente, sobretudo, nos principais eixos rodoviários, em detrimento de um conjunto de paragens distribuídas de forma homogénea. Ainda assim, esta rede apresenta um conjunto de ligações intermunicipais abrangente, assegurando a conectividade de Santo Tirso com vários concelhos vizinhos. Destes municípios, destacam-se Guimarães, Lousada, Paços de Ferreira, Valongo, Trofa, Póvoa do Varzim e Vila do Conde que representam polos de atração pendular.

Importa destacar que grande parte das linhas com origem em Santo Tirso inclui a paragem na Central de Transportes e na Interface Ferroviária de Santo Tirso, o que evidencia a centralidade funcional e a importância estratégica destes equipamentos na organização da rede de transportes. A concentração de pontos de paragem neste local promove a intermobilidade e contribui para a comodidade do utilizador, facilitando a articulação entre os diferentes modos de transporte. Para além da ligação ferroviária,

destaca-se ainda a existência de uma estação de bicicletas integrada na rede do município, reforçando as condições para uma mobilidade suave e sustentável.

A linha 9801 da Ave Mobilidade, gerida pela CIM Ave, é a única linha deste sistema que serve o território de Santo Tirso. Esta linha tem origem em Vizela ou Felgueiras, fazendo paragem na Central de Transportes Santo Tirso. A partir deste ponto, segue pela A3 em direção ao Polo Universitário do Porto, evidenciando a importância desta ligação direta entre os concelhos de Vizela, Felgueiras e Porto. Trata-se de um percurso com potencial no contexto dos movimentos pendulares, especialmente no âmbito dos estudantes do ensino superior, bem como no acesso às zonas de emprego na cidade do Porto.

A avaliação da eficácia de uma rede de transporte público não se exprime apenas pela espacialização dos percursos no território, mas também por uma análise de proximidade real das paragens aos locais de residência. Como estabelecido por García-Palomares et al. (2013), o limiar de conforto de acesso pedonal para as interfaces de autocarro é de 400 metros, assim como a distância ideal entre paragens para serviços urbanos (Leonard Transportation Center, 2011).

Para verificar o cumprimento deste padrão no concelho de Santo Tirso, recorreu-se a uma análise baseada na grelha estatística de 1 km x 1km da BGRI (INE). Esta unidade permite normalizar o território e calcular objetivamente a oferta de paragens por unidade de área, independentemente da dimensão de freguesias. Admite-se que, numa área de influência de 400 metros de uma paragem, a disposição mínima que garante a cobertura total de 1km^2 é de quatro paragens, posicionadas de forma que nenhum ponto desta área fique a mais de 400 metros de uma paragem.

A análise resultante deste cruzamento (Figura 13), que relaciona a densidade de interfaces com a população residente, é possível distinguir três padrões distintos de acessibilidade:

- Na centralidade de Santo Tirso, a densidade de paragens revela-se bastante elevada, representando uma rede de forte capilaridade, excedendo o

referencial teórico, garantindo uma cobertura pedonal eficiente para a elevada densidade populacional existente neste espaço;

- Grande parte do território apresenta uma disponibilidade de paragens abundante ao longo dos eixos viários principais, assegurando a conectividade regional;
- Défice de cobertura e desertos de serviço em freguesias como Monte Córdova, Água Longa, União das freguesias de Lamelas e Guimarei, União das freguesias de Santo Tirso, Couto (Santa Cristina e São Miguel) e Burgães e União das freguesias de Areias, Sequeiró, Lama e Palmeira.

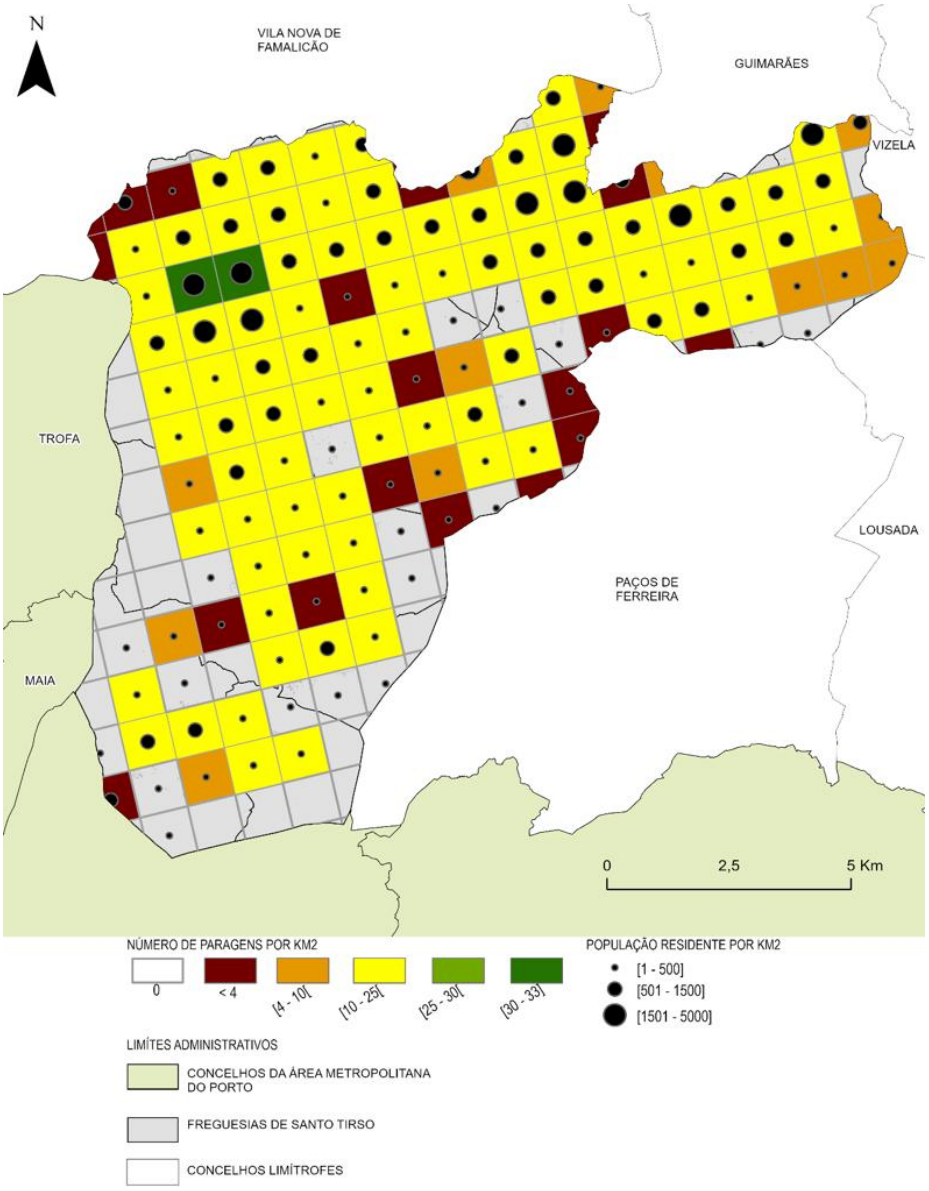


Figura 13. Relação espacial entre a densidade de paragens e a população residente no concelho de Santo Tirso

Fonte: INE,2021; CAOP,2023

Nestas áreas, a disponibilidade de paragens não cumpre os requisitos mínimos de cobertura, nomeadamente a existência de quatro paragens por km^2 ou a existência de uma interface até 400 metros. Nestas áreas, foram identificados aglomerados residenciais situados em regiões onde a densidade de paragens é bastante reduzida ou nula, onde a distância até à interface mais próxima excede os 400 metros,

comprometendo a qualidade do serviço, comprometendo a atratividade do transporte público.

Deste modo, a análise demonstra que a rede de Santo Tirso, embora robusta nos eixos centrais, apresenta lacunas estruturais em áreas periféricas. Nestas localizações, a baixa densidade de paragens sugere que o sistema de transporte público não consegue captar a procura potencial residente, favorecendo a dependência do automóvel privado.

Para além da análise do mapa da Figura 13, procedeu-se ao cálculo do coeficiente de correlação de Pearson entre a população residente e o número de paragens por célula da grelha da BGRI, tendo-se obtido o valor de r = 0,65. Este valor traduz uma associação positiva de intensidade moderada, ou seja, a relação entre a densidade populacional e a oferta de paragens não é estritamente linear em todo o território concelhio, existindo desvios relevantes em ambos os sentidos.

Verificou-se que os desvios mais acentuados no sentido de um excesso de paragens em relação à população residente concentram-se principalmente ao longo da EN 105, onde a convergência de diversas linhas de transporte público origina um elevado número de serviços face à população residente. Em sentido inverso, identificaram-se células com défice acentuado face à população residente, nomeadamente na freguesia das Aves e de Roriz.

O Coeficiente de Determinação (R^2= 0,42) sugere que, embora a distribuição populacional explique uma parte relevante da localização das paragens, outros fatores – como a estrutura viária, desenvolvimento urbano e a localização de comércio e serviços poderão desempenhar um papel importante.

5.1.1. Abrangência das paragens de autocarro

A avaliação da eficácia do transporte público em Santo Tirso requer uma análise que ultrapasse a densidade teórica. Deste modo, adotando o limiar de distância com potencial máximo de captação de utilizadores às interfaces de transportes, utilizou-se a modelação da rede (Network Analysis) em detrimento das distâncias euclidianas, garantindo que a área de influência de 400 metros respeita a conectividade e a morfologia da malha viária (Figura 14).

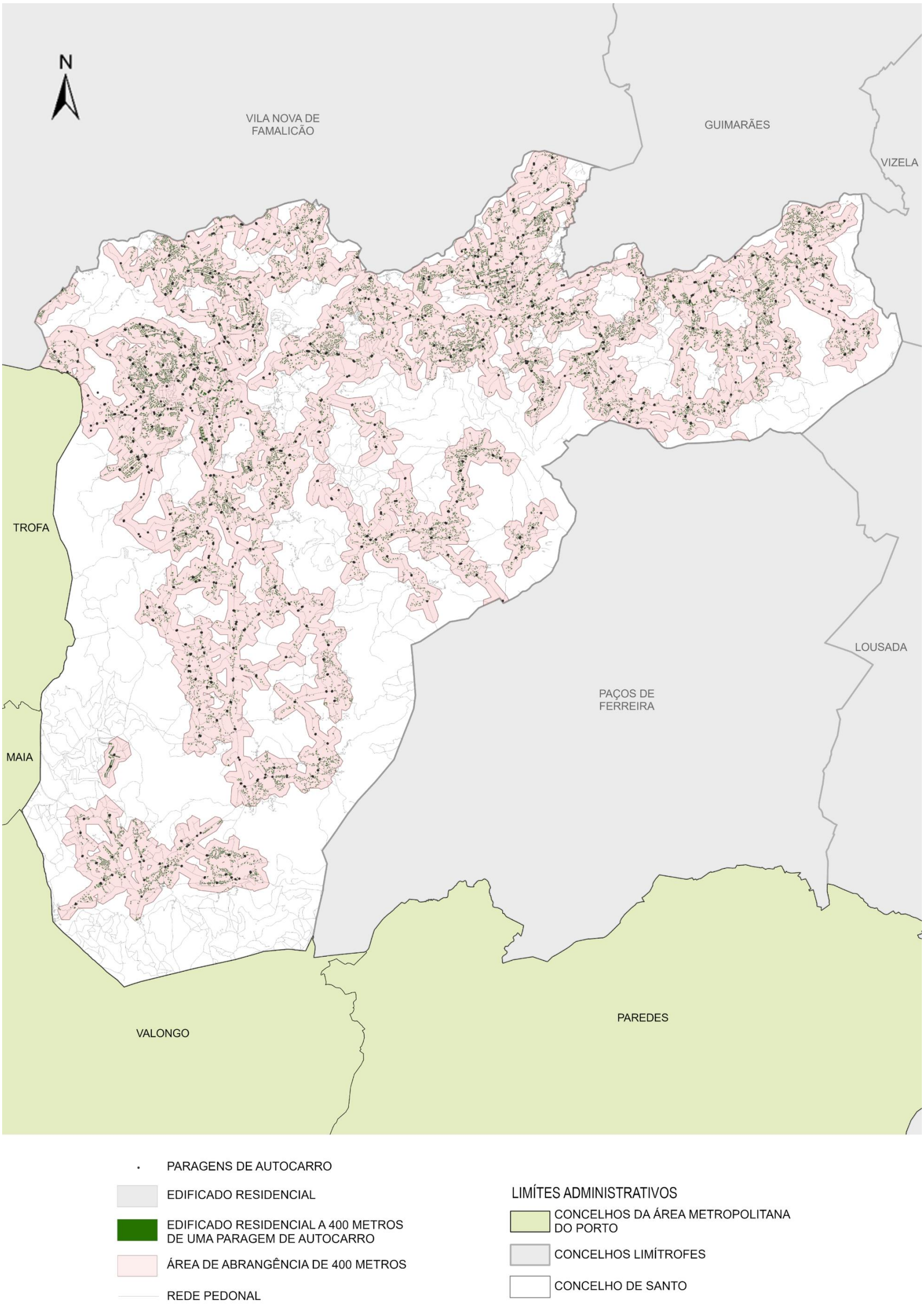


Figura 14. Área de influência das paragens de autocarro de Santo Tirso

Fonte: COS, 2023; CAOP, 2023, Câmara Municipal de Santo Tirso, 2025; OSM, 2025

A determinação da população servida pela rede de transporte público em Santo Tirso foi realizada utilizando o método de mapeamento dasimétrico. Este procedimento permitiu distribuir a população das subsecções estatísticas do INE (Censos 2021) proporcionalmente à área do edificado residencial.

A estimativa da população residente em cada edifício (Pedif) foi calculada através da relação entre a área do edificado e a população total da unidade estatística apresentada na Equação 1:

(1)

$$Pedif = Pss * \left(\frac{Aedif}{Ass}\right)$$

em que:

Pss corresponde à população total da subsecção (Censos 2021, INE);

Aedif representa a Área (m^2) do edifício residencial;

Ass representa a área total (m^2) do edificado residencial na subsecção

Após a espacialização da população pelo edificado residencial, procedeu-se à intersecção destes dados com as áreas de serviço (isócronas de 400 metros) resultantes do Network Analyst. Esta etapa permitiu quantificar a população que efetivamente reside dentro do limiar de conforto pedonal. A população abrangida (Pab) foi determinada pela Equação 2.

(2)

$$Pab = Pedif * \left(\frac{Ares_{intersect}}{A_{edif_ss}}\right)$$

Em que:

Pab corresponde à população abrangida (estimada);

Pedif corresponde à população estimada residente por cada edifício (Censos 2021, INE)

$Area_{intersect}$ representa a área edificada residencial dentro da área de serviço (em m^2);

A_{edif_ss} representa a área total (m^2) desse mesmo edifício,

Este procedimento permitiu aferir que aproximadamente 61.822 residentes no território tirsense são abrangidos por, pelo menos, uma paragem de autocarro num raio de 400 metros.

Este valor constitui um indicador relevante de cobertura espacial da rede: identifica que uma fatia significativa da população do concelho (cerca de 91,31%) possui acesso teórico ao sistema de transporte público rodoviário dentro do limiar de distância considerado confortável. Acresce que a cobertura física não garante, por si só, a competitividade do modo, sendo necessária a análise do tempo de caminhada até à paragem mais próxima, assim como o diferencial temporal face ao transporte individual para os mesmos destinos de deslocação.

5.1.2. Análise da população abrangida pelo serviço de transporte rodoviário

Após a determinação da cobertura populacional, é fundamental avaliar a performance do sistema de transporte público em termos de eficiência temporal, uma vez que a proximidade física da rede não garante, por si só, a sua utilização. A escolha modal é fortemente influenciada pela diferença de tempo na viagem até ao destino pretendido entre as alternativas disponíveis. Neste sentido, procedeu-se a uma modelação comparativa dos tempos de deslocação entre os principais destinos pendulares identificados anteriormente.

Os tempos de viagem foram calculados de forma distinta para cada modo. No transporte público, foi realizado o somatório do tempo de caminhada desde o edifício residencial (ajustado pelo esforço do declive através da função de Caminhada de Tobler) e o tempo de percurso retirado dos dados GTFS dos operadores.

Para o transporte individual, o tempo de viagem foi calculado considerando o trajeto a partir de cada casa, utilizando dados de tráfego histórico obtidos via API da HERE Technologies (para o Porto) e via API OSRM para os restantes destinos.

O primeiro nível de análise da eficiência do sistema incide sobre a acessibilidade pedonal no trajeto inicial, materializada na distância real percorrida entre a unidade residencial e a interface de transporte mais próxima.

A distribuição da população residente pelos diferentes intervalos de tempo de acesso à rede de transporte público (Figura 15) permite traçar um diagnóstico rigoroso da cobertura do serviço no concelho. Esta métrica, que contabiliza o trajeto real desde o edifício residencial até à paragem mais próxima – considerando as condicionantes do relevo – revela uma rede de elevada capilaridade física, embora com disparidades territoriais evidentes nas classes de maior impedância.

A população que se encontra abrangida até 400 metros de uma interface corresponde a 91,31% do total (61.822 habitantes), estando a uma distância temporal inferior a 10 minutos de caminhada. Entre estes, destaca-se os que se encontram na classe de 0-5 minutos, abrangendo 76,28% da população concelhia. Estes valores devem-se, sobretudo, à maior concentração interfaces ao longo dos principais eixos urbanos, onde a densidade de paragens minimiza a distância de caminhada para aceder à rede de transporte público. Como visto anteriormente, este intervalo constitui o cenário ideal para a captação de utilizadores, visto que a barreira física de acesso é bastante reduzida.

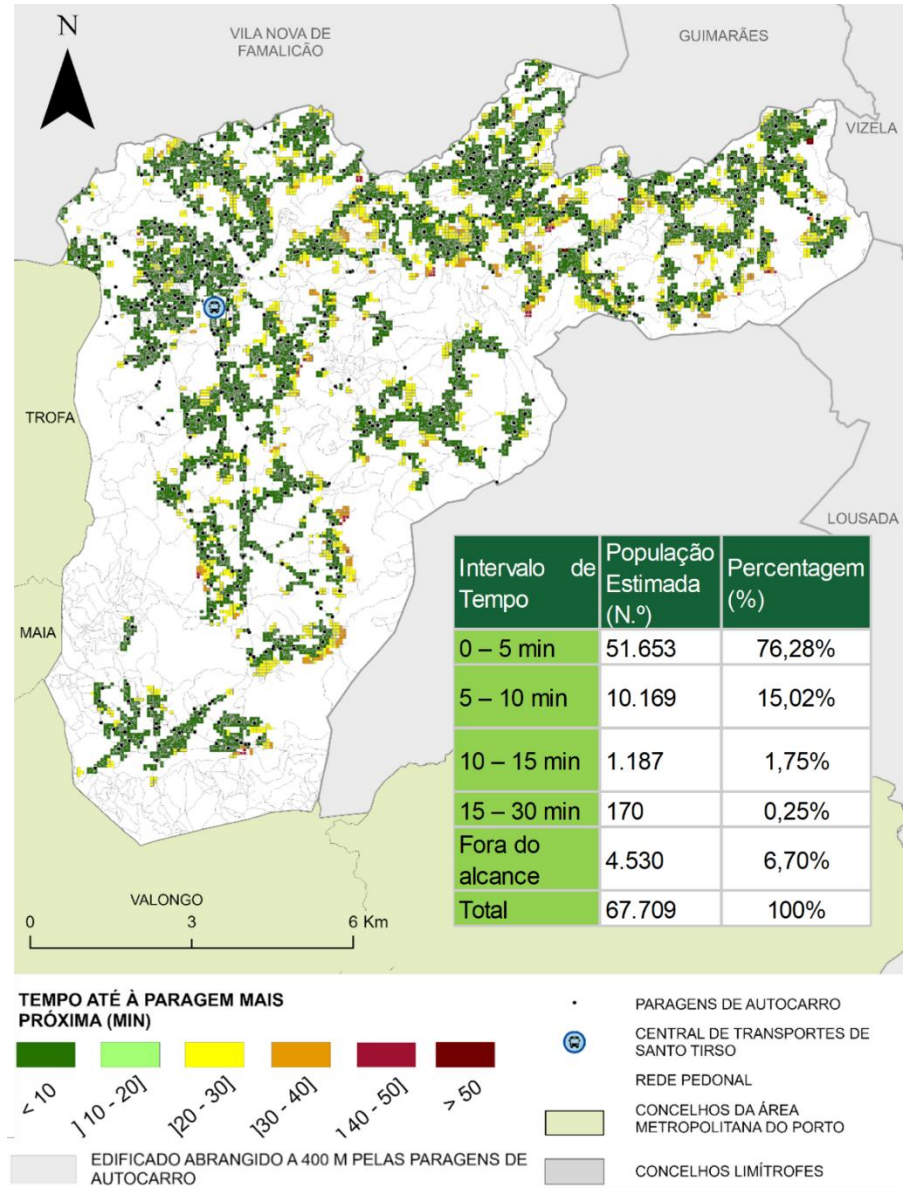


Figura 15. População residente abrangida pelo serviço de transporte público até 400 metros por classes de tempo

Fonte: CAOP, 2023; INE, 2021; Câmara Municipal de Santo Tirso, 2025; OSM, 2025

À medida que o tempo de acesso aumenta, verifica-se uma quebra abrupta na representatividade populacional. As classes situadas entre 10 e 30 minutos totalizam apenas 2% da população do concelho. Embora numericamente inferiores, estas áreas representam os territórios de transição entre o urbano e o rural, assim como zonas de urbanização dispersa. Nestes casos, a caminhada até ao transporte público deixa de

ser uma opção de conveniência e passa a ser sentida como um custo elevado, especialmente em territórios com o declive mais acentuado.

Os residentes que enfrentam tempos superiores a 30 minutos representam uma percentagem residual (6,95 %). Contudo, em termos de equidade social, estes dados demonstram pontos de fragilidade de acesso ao transporte público no território, mesmo estando dentro da área de abrangência. Deste modo, dado a dificuldade de acesso ao serviço, são exemplos de áreas potencialmente elegíveis a freguesia da Reguenga; União de Freguesias de Carreira e Refojos de Riba de Ave e a região nordeste do concelho onde poderiam vir a ser servidas por serviços de transporte a pedido.

Em suma, os dados confirmam que a rede de transporte público de Santo Tirso apresenta uma estrutura de paragens capaz de servir a quase totalidade da sua massa crítica populacional em tempos de acesso competitivos.

5.2. Análise Comparativa do Tempo de Deslocação entre o Transporte Público e o Automóvel

5.2.1. Santo Tirso

A análise comparativa do tempo de deslocação em transporte público e em transporte individual para a Central de Transportes de Santo Tirso nos mapas da Figura 16 evidencia diferenças significativas na eficiência espacial entre os dois modos de transporte.

No que se refere ao transporte individual, observa-se uma clara predominância de tempos de deslocação reduzidos em praticamente todo o território concelhio. A generalidade da área apresenta valores inferiores a 25 minutos, com forte concentração de tempos até 10 minutos, o que revela uma elevada cobertura territorial e uma boa conectividade proporcionada pela rede viária. Este padrão reflete a flexibilidade e a rapidez associadas ao automóvel, permitindo acessos mais diretos e contínuos ao destino.

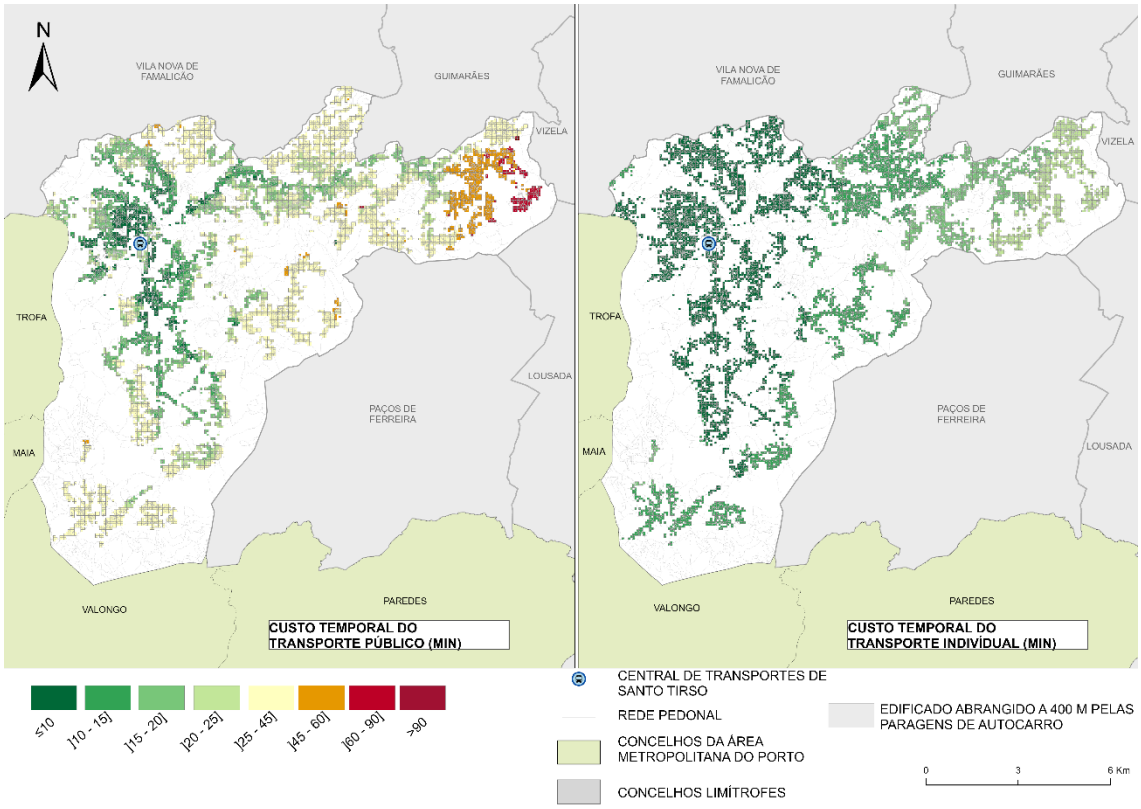


Figura 16. Tempo de viagem de autocarro e automóvel até à Central de Transportes de Santo Tirso

Fonte: CAOP, 2023; INE, 2021; OSM, 2025

Em contraste, o transporte público apresenta uma distribuição espacial dos tempos de deslocação bastante heterogénea e, em muitos casos, significativamente superior. Embora existam regiões com tempos competitivos (inferiores a 10 minutos), estas concentram-se sobretudo nos núcleos urbanos mais densos e melhor servidos por paragens. À medida que se vai deslocando para as regiões mais periféricas ou de menor densidade de paragens, verifica-se um aumento expressivo dos tempos de deslocação, frequentemente ultrapassando os 45 minutos.

Esta discrepância entre os dois modos de transporte deve-se principalmente à inexistência de ligações diretas para a sede de concelho, o que implica percursos menos diretos e com necessidade de transbordo. Além deste fator, destaca-se a dispersão do edificado e a morfologia da rede viária em áreas rurais, dificultando a cobertura eficiente da rede de transporte público.

Adicionalmente, destaca-se que, enquanto o automóvel assegura uma acessibilidade relativamente homogénea em todo o território, o transporte público revela fortes assimetrias, favorecendo os principais centros urbanos do concelho em detrimento das áreas mais periféricas. Esta situação traduz-se numa dependência acrescida do transporte individual nas zonas menos densas.

A análise do mapa da diferença de tempos de deslocação entre o transporte público e o transporte individual para a Central de Transportes de Santo Tirso (Figura 17) permite evidenciar, de forma clara, as desigualdades de desempenho entre os dois modos no concelho.

Observa-se uma predominância de valores positivos, indicando que o tempo de deslocação utilizando o transporte público é, na maioria das vezes, superior àquele registado pelo carro. Esta diferença é particularmente acentuada na região oeste e norte do concelho, onde a diferença ultrapassa os 40 minutos, evidenciando uma desvantagem significativa do transporte coletivo.

Nas zonas mais centrais e urbanas, a diferença tende a ser mais reduzida, com diferenças inferiores a 10 minutos, principalmente ao longo dos principais eixos viários. Este padrão sugere que, nestes contextos, o transporte público consegue aproximar-se da competitividade temporal do automóvel.

Do ponto de vista da acessibilidade territorial, este padrão revela uma clara assimetria modal, na qual o transporte público apresenta uma desvantagem estrutural face ao transporte individual, especialmente fora dos centros urbanos.

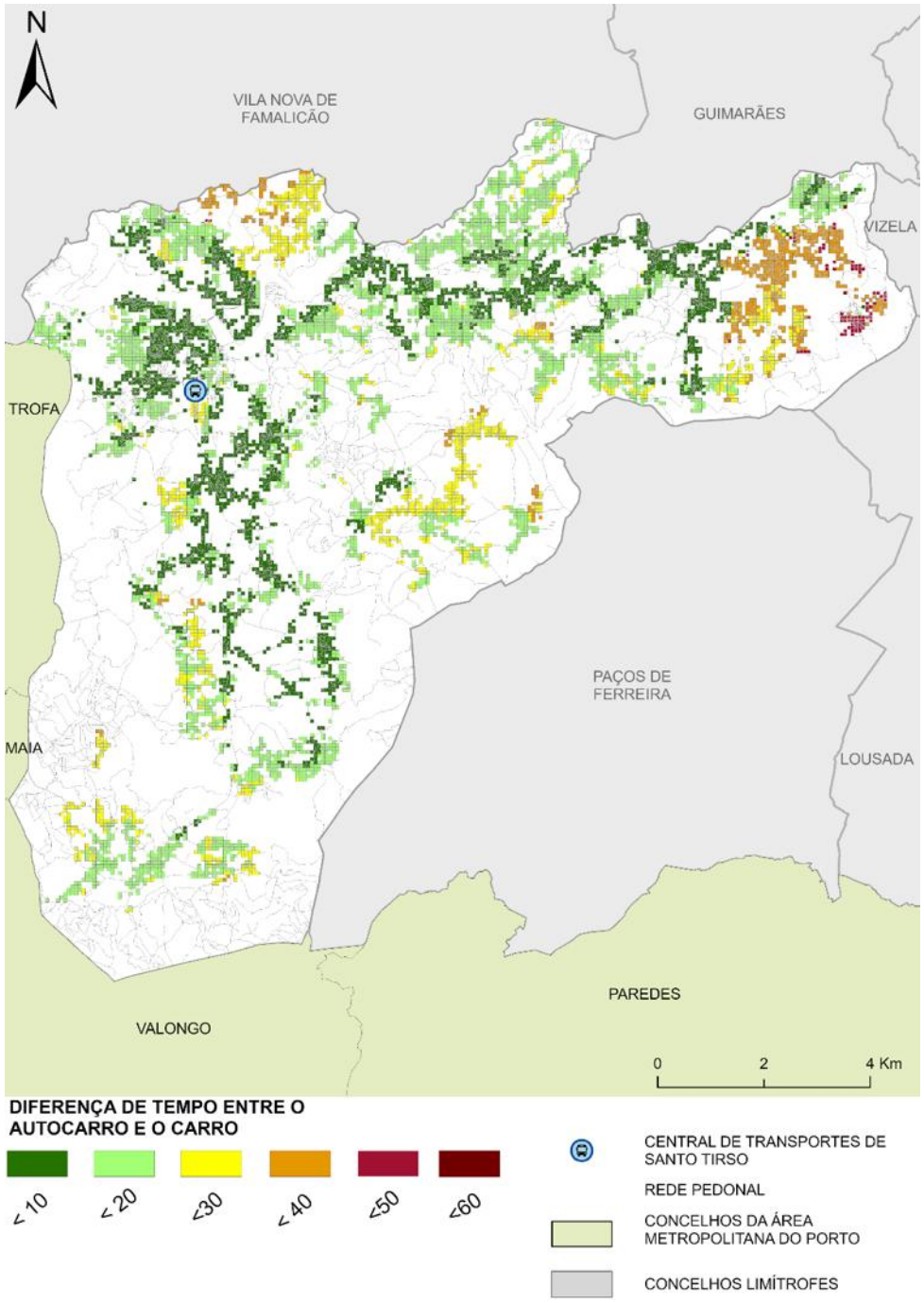


Figura 17. Diferença de tempo entre o transporte público e o transporte individual para a Central de Transportes de Santo Tirso

Fonte: CAOP, 2023; INE, 2021; OSM, 2025

A análise da população servida pela rede de transporte público rodoviário em zonas com diferencial de tempo superior a 30 minutos entre transporte público e transporte individual identifica um total de 4.510 habitantes (Tabela 7).

A desagregação por freguesia revela uma distribuição desigual deste défice: Vilarinho (50,6%) e Vila Nova do Campo (33,3%) concentram em conjunto mais de 80% da população penalizada. Em contraste, freguesias como Rebordões, Reguenga e Roriz não registam qualquer população nesta condição, e a União de Freguesias de Santo Tirso, Couto e Burgães apresenta um valor muito reduzido.

Este resultado demonstra que a desvantagem de transporte público face ao automóvel para aceder à sede de concelho não é um fenómeno generalizado, mas concentra-se especialmente em duas freguesias.

Tabela 7. População servida com perda de tempo superior a 30 minutos entre transporte público rodoviário e o transporte individual, por freguesia com destino à Central de Transportes de Santo Tirso.

Freguesia	População estimada abrangida	População com perda > 30 minutos	%
Agrela	1.404	13	0,9%
Água Longa	2.080	47	2,3%
Monte Córdova	3.418	140	4,1%
Negrelos (São Tomé)	3.531	75	2,1%
União das freguesias de Areias, Sequeiró, Lama e Palmeira	5.664	462	8,2%
União das freguesias de Lamelas e Guimarei	1.443	35	2,4%
União das freguesias de Santo Tirso, Couto (Santa Cristina e São Miguel) e Burgães	19.065	4	0,02%
Vila Nova do Campo	5.975	1.992	33,3%
Vilarinho	3.440	1.742	50,6%

Fonte: INE, 2021

5.2.2. Trofa

A análise comparativa do custo temporal de acesso à Interface Rodoferroviária da Trofa (Figura 18) revela uma disparidade acentuada entre os modos de transporte analisados. Enquanto a rede viária permite uma acessibilidade eficiente, com a predominância de tempos de deslocação em transporte individual inferiores a 30 minutos na maior parte do concelho, o cenário para o transporte público apresenta uma estrutura fragmentada e penalizadora para o utilizador.

Em termos comparativos, os tempos de viagem de TP são mais de 100% superiores aos registados no modo rodoviário privado. Esta ineficiência é visível na mancha predominante do território, onde os tempos de percurso se situam entre os 30 e 60 minutos. No entanto, o cenário de exclusão temporal agrava-se na região nordeste – nas zonas limítrofes com os concelhos de Vizela e Guimarães – onde a reduzida densidade da rede eleva o custo temporal para patamares entre os 60 e 90 minutos, chegando a ultrapassar os 90 minutos em áreas mais isoladas.

Este diferencial reforça a hegemonia do transporte individual, demonstrando que, para os residentes da periferia do território, a utilização do transporte público implica uma penalização temporal que compromete a sua atratividade e eficácia enquanto alternativa de mobilidade quotidiana.

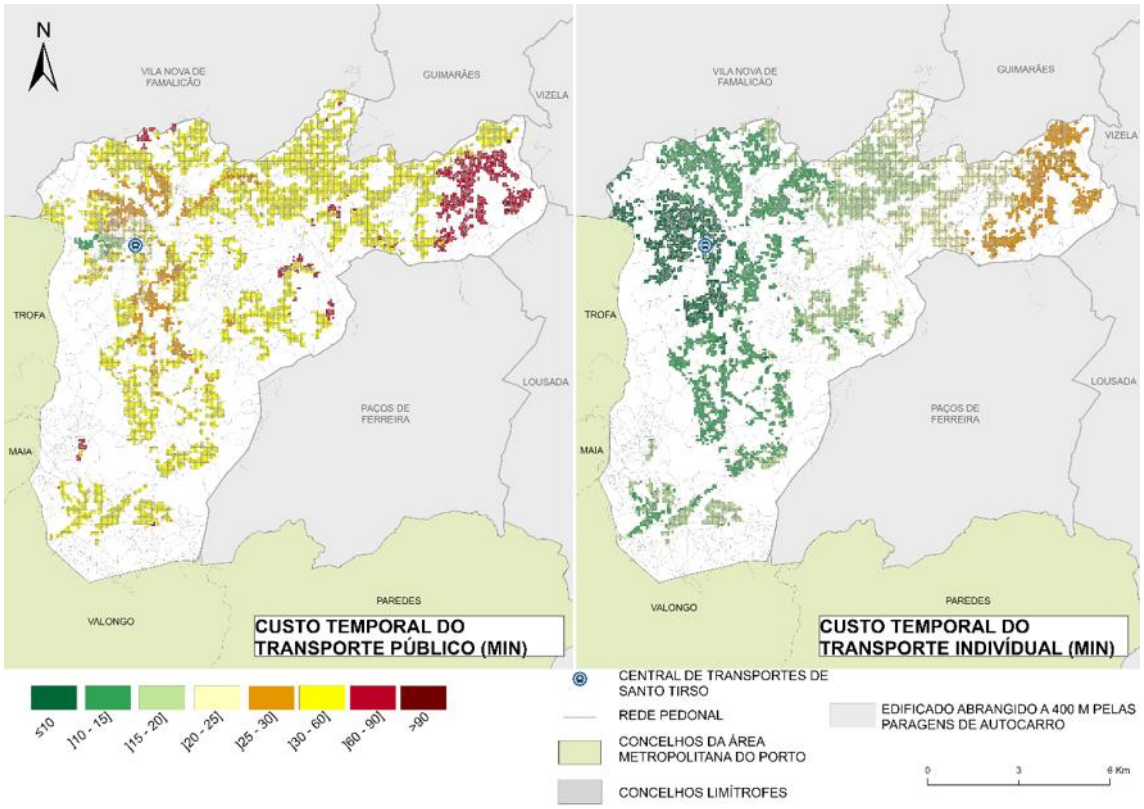


Figura 18. Tempo de viagem de automóvel e transporte público para a Interface Rodoferroviária da Trofa

Fonte: CAOP, 2023; INE, 2021; OSM, 2025

No que concerne à diferença temporal entre os dois modos (Figura 19), os dados revelam que a competitividade do transporte público é inversamente proporcional à distância dos principais eixos estruturantes e do núcleo central. Na proximidade imediata da Interface Rodoferroviária da Trofa, o sistema coletivo demonstra uma capacidade de resposta robusta e competitiva, conseguindo aproximar-se da eficiência do transporte individual.

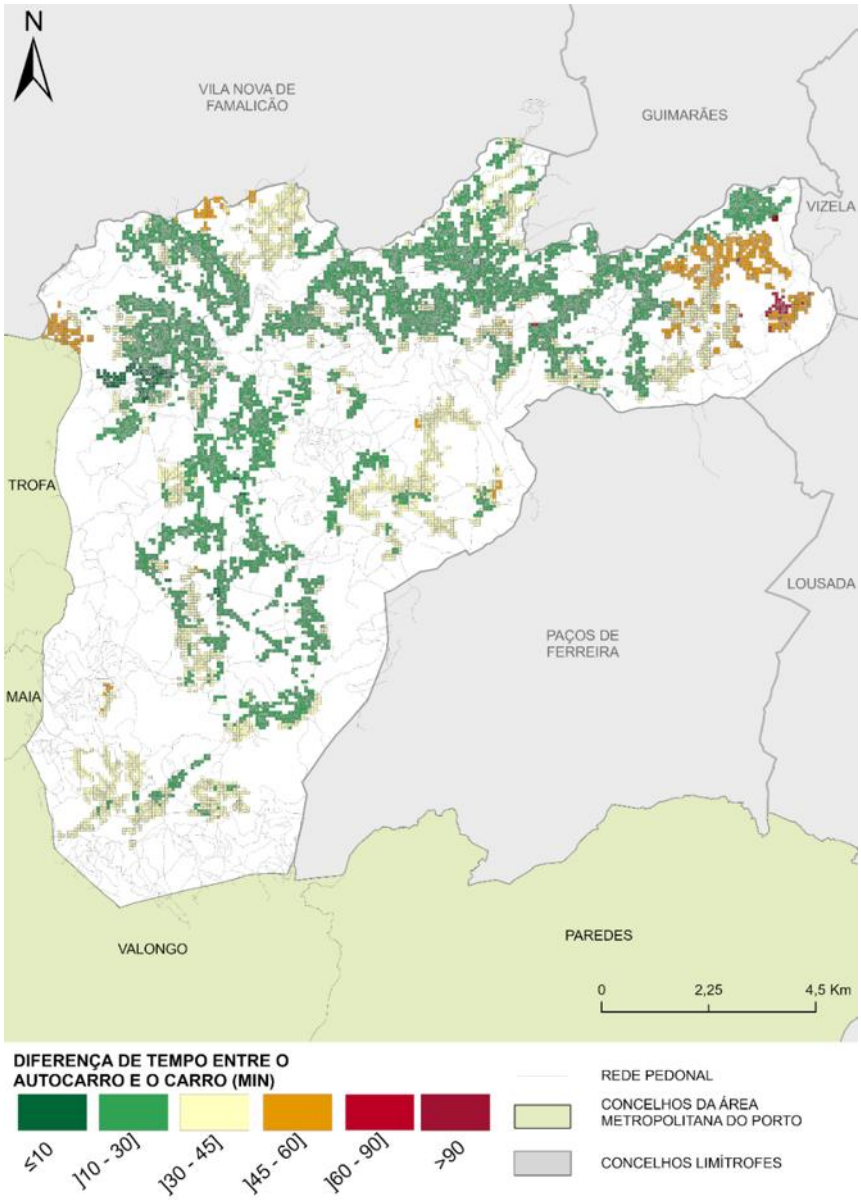


Figura 19. Diferença de tempo entre o transporte público e o transporte individual para a Interface Rodoferroviária da Trofa

Fonte: CAOP, 2023; INE, 2021; OSM, 2025

Ao longo dos principais eixos viários, a diferença temporal situa-se num intervalo moderado, entre os 10 e 30 minutos, contudo, verifica-se um fenómeno de degradação à medida que a análise recai sobre as áreas residenciais mais afastadas destes segmentos, onde o diferencial chega a valores compreendidos entre 30 e 45 minutos.

O cenário mais crítico identifica-se na extremidade nordeste do concelho, onde a diferença de tempos ultrapassa os 60 minutos. Este valor representa um limiar de ineficiência que inviabiliza a utilização do transporte público para quem tenciona deslocar-se para o centro do concelho da Trofa.

A análise equivalente tendo como destino a interface da Trofa (Tabela 8) revela um padrão de penalização substancialmente mais generalizado do que aquele observado para Santo Tirso: cerca de 19.795 residentes (31,6%) registam uma perda superior a 30 minutos ao optarem pelo transporte público rodoviário em detrimento do automóvel. Água Longa (96,2%) e Agrela (73,9%) apresentam os valores mais elevados, indo ao encontro do padrão das freguesias com uma maior dependência por destinos externos.

Tabela 8. População servida com perda de tempo superior a 30 minutos entre transporte público rodoviário e o transporte individual, por freguesia com destino à Interface da Trofa.

Freguesia	População estimada abrangida	População com perda > 30 minutos	%
Agrela	1.404	1.038	73,9%
Água Longa	2.080	2.000	96,2%
Aves	7.457	1.560	20,9%
Monte Córdova	3.418	2.320	67,9%
Negrelos (São Tomé)	3.531	700	19,8%
Rebordões	2.931	258	8,8%
Reguenga	1.208	377	31,2%
Roriz	3.111	559	18,0%
União das freguesias de Areias, Sequeiró, Lama e Palmeira	5.664	2.158	38,1%
União das freguesias de Carreira e Refojos de Riba de Ave	1.886	28	1,5%
União das freguesias de Lamelas e Guimarei	1.443	671	46,5%
União das freguesias de Santo Tirso, Couto (Santa Cristina e São Miguel) e Burgães	19.065	3.123	16,38%
Vila Nova do Campo	5.975	3.071	51,4%
Vilarinho	3.440	1.932	56,2%

5.2.3. Vila Nova de Famalicão

A análise comparativa do custo temporal de acesso à Interface Rodoviária de Vila Nova de Famalicão (Figura 20) revela uma disparidade acentuada entre os modos de transporte analisados. Enquanto a rede viária permite uma acessibilidade eficiente, com a predominância de tempos de deslocação em transporte individual inferiores a 30 minutos na maior parte do concelho, o transporte público apresenta limitações significativas.

Nas freguesias situadas mais a norte, nomeadamente na União de Freguesias de Areias, Lama, Sequeiró e Palmeira, a eficiência temporal do transporte individual é notória, registando-se tempos médios de viagem de apenas 15 minutos, não ultrapassando o limiar de 30 minutos nas restantes zonas concelhias. Em contraste, a utilização do modo coletivo revela-se substancialmente mais penalizadora, embora se verifiquem tempos competitivos (10-15 minutos) nas freguesias limítrofes ao concelho vizinho, esta performance degrada-se rapidamente à medida que a distância ao destino aumenta.

Nas localidades mais afastadas da central de transportes de Santo Tirso, os tempos de viagem atingem os 60 minutos, o que traduz uma perda acentuada de competitividade do transporte público. Este cenário sugere que, para a população das freguesias: União de Freguesias de Areias, Lama, Sequeiró e Palmeira, o transporte público constitui uma alternativa viável.

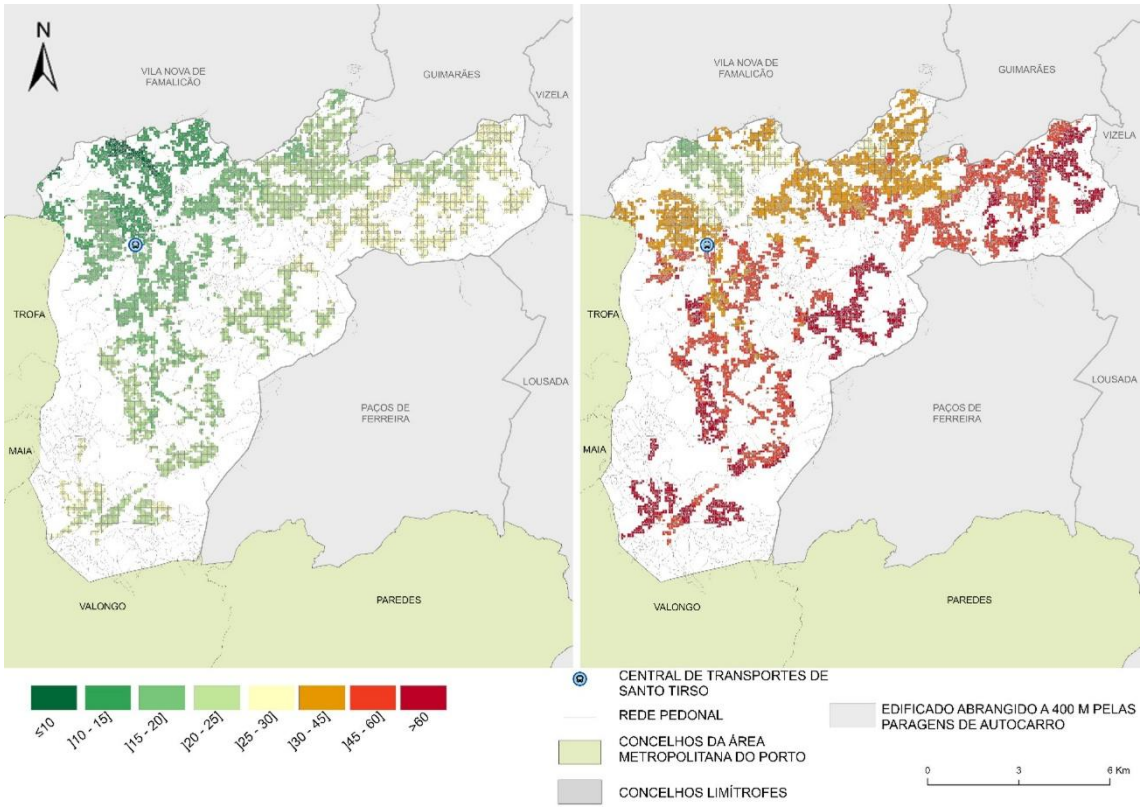


Figura 20. Tempo de viagem de automóvel e transporte público para a Interface Rodoviária de Vila Nova de Famalicão.

Fonte: CAOP, 2023; INE, 2021; OSM, 2025

Relativamente à disparidade do custo temporal entre os dois modos de transporte (Figura 21), observa-se que as freguesias localizadas a norte do concelho de Santo Tirso registam as perdas mais reduzidas, situando-se entre os 15 e os 20 minutos. Todavia, à medida que a distância geográfica aumenta em relação à Central de Transportes, os tempos de viagem agravam-se progressivamente, ultrapassando os 60 minutos nas freguesias situadas a sul e a este. Deste modo, denota-se que a competitividade do transporte público declina consideravelmente, revelando-se eficaz apenas na proximidade do concelho de Vila Nova de Famalicão.

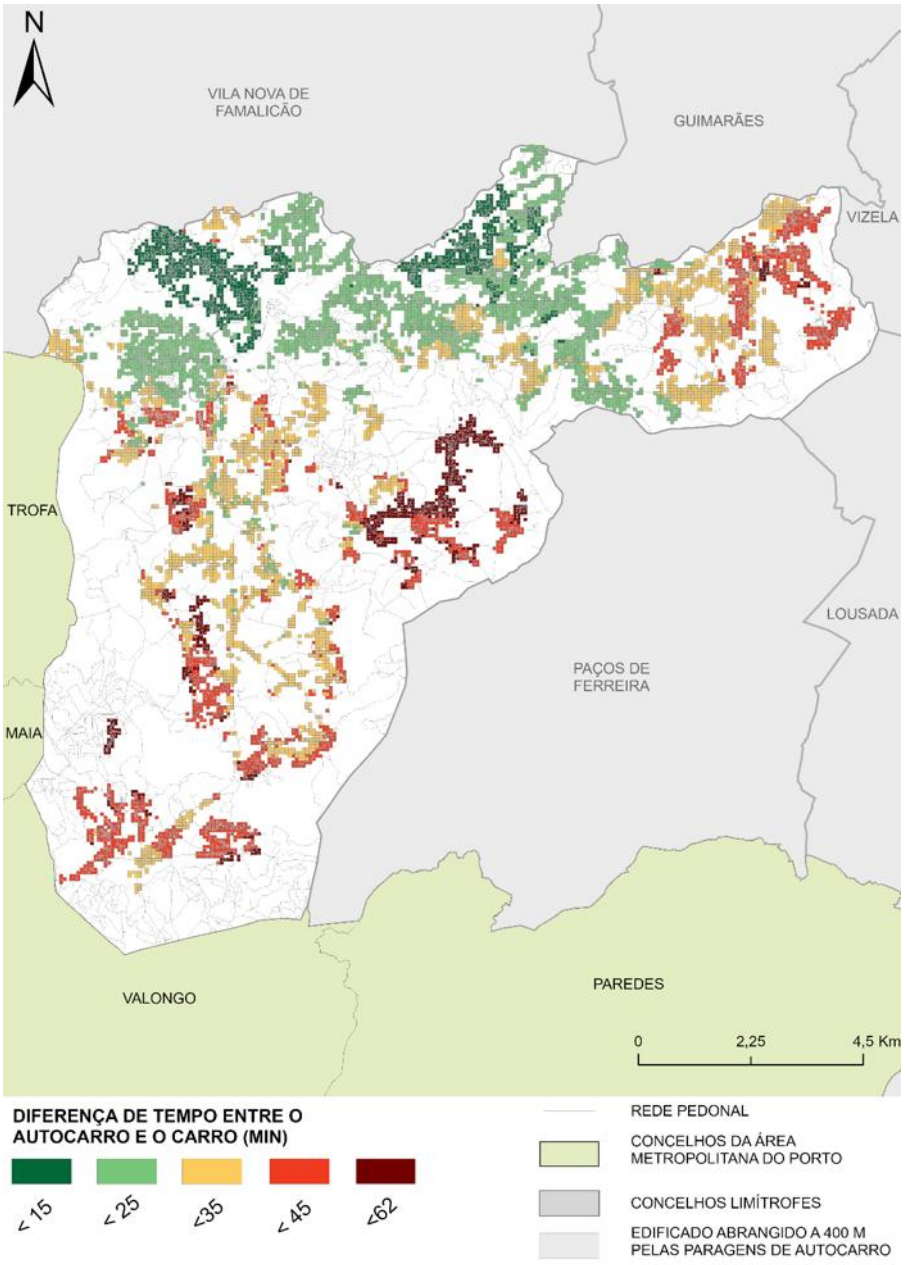


Figura 21. Diferença de tempo entre o transporte público e o transporte individual para a Interface rodoviária de Vila Nova de Famalicão

Fonte: CAOP, 2023; INE, 2021; OSM, 2025

A Tabela 9 demonstra que a utilização do transporte público em detrimento do transporte individual resulta numa penalização temporal superior a 30 minutos para 22.064 habitantes. As freguesias localizadas a sul apresentam soluções mais desfavoráveis, destacando-se Agrela e Água Longa. A estas acrescenta-se a freguesia de Vilarinho, onde a totalidades dos residentes apresenta uma penalização temporal de 30 minutos. Estes resultados evidenciam uma desvantagem estrutural do transporte público nestas freguesias, associada à falta de ligações diretas e à consequente necessidade de realizar percursos menos eficientes face ao transporte individual.

Tabela 9. População servida com perda de tempo superior a 30 minutos entre transporte público rodoviário e o transporte individual, por freguesia com destino à Interface Rodoviária de Vila Nova de Famalicão

Freguesia	População estimada abrangida	População com perda > 30 minutos	%
Agrela	1.404	1.404	100,0%
Água Longa	2.080	2.080	100,0%
Aves	7.457	140	1,9%
Monte Córdova	3.418	3.083	90,2%
Negrelos (São Tomé)	3.531	157	4,4%
Rebordões	2.931	0	0,0%
Reguenga	1.208	1.208	100,0%
Roriz	3.111	357	11,5%
União das freguesias de Areias, Sequeiró, Lama e Palmeira	5.664	168	3,0%
União das freguesias de Carreira e Refojos de Riba de Ave	1.886	835	44,3%
União das freguesias de Lamelas e Guimarei	1.443	1.270	88,0%
União das freguesias de Santo Tirso, Couto (Santa Cristina e São Miguel) e Burgães	19.065	4.857	25,48%
Vila Nova do Campo	5.975	3.065	51,3%
Vilarinho	3.440	3.440	100,0%

5.2.4. Guimarães

A análise do custo temporal para a Estação Central de Camionagem de Guimarães revela, de igual modo, assimetrias acentuadas entre os modos de transporte. Como seria expectável, as freguesias situadas no quadrante norte e nordeste do concelho, nomeadamente Vila das Aves, Vilarinho, Vila Nova do Campo e Roriz, apresentam tempos de deslocação mais reduzidos. Nestas localidades, o trajeto de automóvel é concluído em menos de 20 minutos, enquanto o percurso de transporte público estende o tempo de viagem para patamares superiores a 60 minutos.

Inversamente, o custo temporal máximo regista-se nas freguesias localizadas a sul do concelho, observando-se uma tendência de agravamento em ambos os modos à medida que a distância para o destino aumenta. Contudo, esta penalização é significativamente mais expressiva no transporte público, devido à reduzida frequência de ligações diretas e à necessidade de realizar transbordos, resultando num custo temporal consideravelmente superior ao do transporte individual.

Importa ainda destacar a linha 9206, da Ave Mobilidade, que estabelece uma ligação direta entre a Central de Transportes de Santo Tirso e a Central de Camionagem de Guimarães. A existência desta ligação traduz-se em tempos de deslocação mais reduzidos nas freguesias a montante, especialmente ao longo da EN 105. Este resultando evidencia a importância das ligações diretas na redução do custo temporal do transporte público e na melhoria da acessibilidade aos principais polos de transporte intermunicipal.

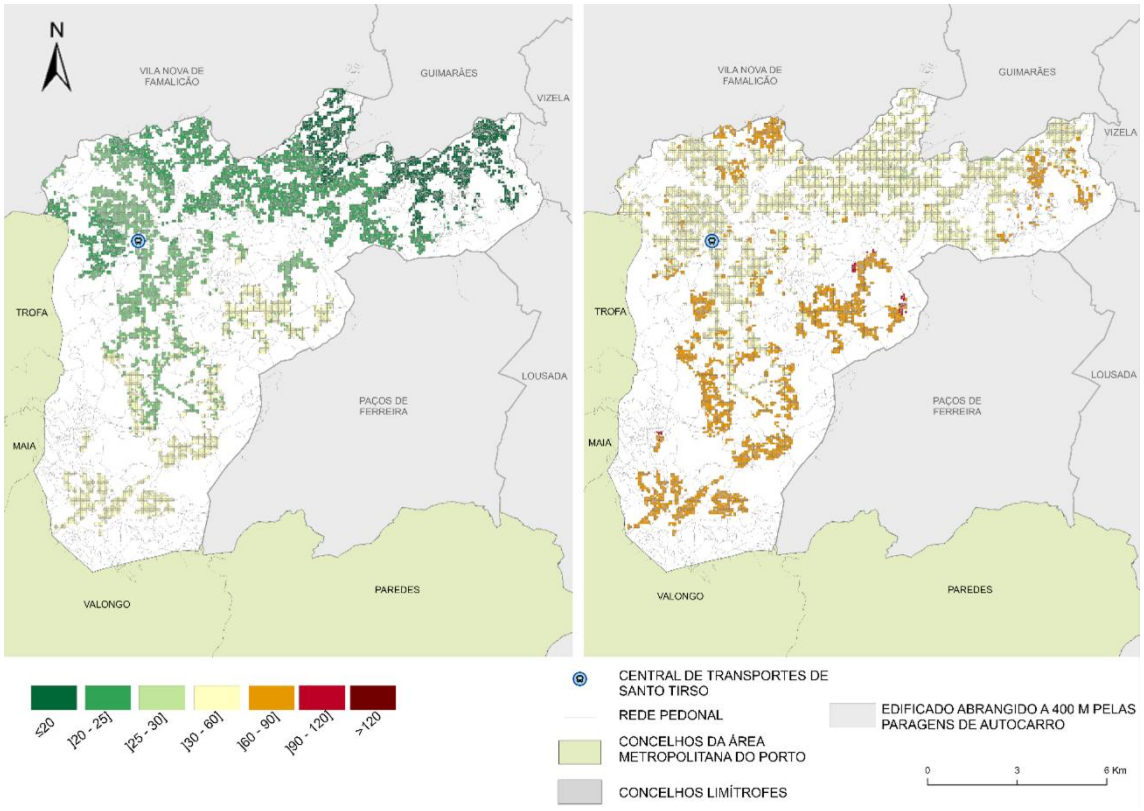


Figura 22. Tempo de viagem entre o transporte público e o transporte individual para a Estação Central de Camionagem de Guimarães

Fonte: CAOP, 2023; INE, 2021; OSM, 2025

No que concerne à disparidade do custo temporal entre os dois modos de transporte (Figura 23) observa-se que a União das Freguesias de Areias, Sequeiró, Lama e Palmeira, regista uma das maiores penalizações do concelho, com o diferencial a situar-se entre os 45 e os 60 minutos. Este fenómeno de ineficiência também se estende às freguesias mais próximas de Guimarães, como em Vilarinho e Vila Nova do Campo e mais a sul, na freguesia de Água Longa.

Esta diferença temporal é o reflexo direto das carências na rede estruturante, nomeadamente a inexistência de ligações diretas entre estes locais e o destino, necessitando de transbordos, especialmente entre as localidades mais interiores até à artéria principal, aos quais acrescem percursos pedonais com perdas de tempo significativas até à paragem mais próxima.

Em contrapartida, as áreas residenciais adjacentes aos principais eixos viários apresentam diferenciais mais contidos, situando-se no intervalo de 10-30 minutos. Estes dados demonstram que, onde a infraestrutura permite trajetos mais lineares e diretos, o transporte público consegue oferecer um nível de competitividade funcional, reduzindo a desvantagem comparativa do transporte individual.

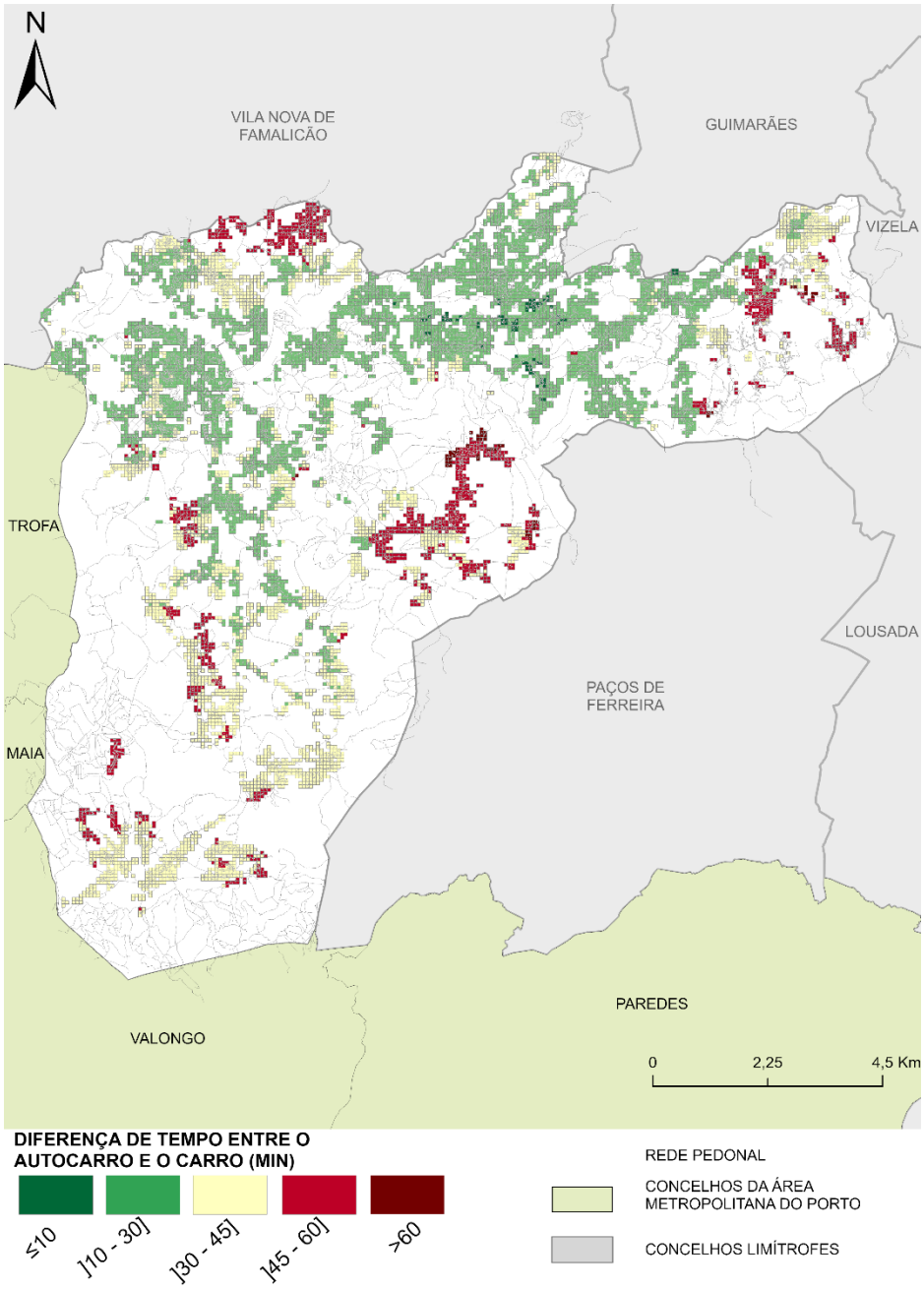


Figura 23. Diferença de tempo entre o transporte público e o transporte individual para a Interface rodoviária de Guimarães

Fonte: CAOP, 2023; INE, 2021; OSM, 2025

A análise das deslocações com destino Guimarães revela que 34,9% da população abrangida regista uma perda de tempo superior a 30 minutos. O caso mais ilustrativo é a freguesia de Água Longa a freguesia de Agrela e a freguesia de Reguenga com o total

da população a ser penalizada pela troca do meio de transporte. Por outro lado, as freguesias mais a norte do concelho, como a freguesia das Aves e a freguesia de Negrelos são as que apresentam a menor penalização, devendo-se essencialmente à existência de ligações diretas de transporte público rodoviário.

Tabela 10. População servida com perda de tempo superior a 30 minutos entre transporte público rodoviário e o transporte individual, por freguesia com destino à Central de Transportes de Guimarães.

Freguesia	População estimada abrangida	População com perda > 30 minutos	%
Agrela	1.404	1.404	100%
Água Longa	2.080	2.080	100%
Aves	7.457	334	4,5%
Monte Córdova	3.418	3.121	91,3%
Negrelos (São Tomé)	3.531	17	0,5%
Rebordões	2.931	205	7,0%
Reguenga	1.208	1.208	100,0%
Roriz	3.111	143	4,6%
União das freguesias de Areias, Sequeiró, Lama e Palmeira	5.664	3.294	58,2%
União das freguesias de Carreira e Refojos de Riba de Ave	1.886	991	52,5%
União das freguesias de Lamelas e Guimarei	1.443	1.379	95,6%
União das freguesias de Santo Tirso, Couto (Santa Cristina e São Miguel) e Burgães	19.065	3.398	17,82%
Vila Nova do Campo	5.975	1.855	31,0%
Vilarinho	3.440	2.483	72,2%

5.2.5. Porto

Por último, a análise centra-se na acessibilidade ao Porto - Polo Universitário, um destino estratégico que gera uma procura intensiva.

A observação do mapa relativo ao transporte individual (Figura 24) evidencia a influência direta das infraestruturas de alta capacidade: as áreas residenciais localizadas na proximidade dos nós de acesso da A3 e A41 registam tempos de deslocação extremamente reduzidos. À medida que a análise se afasta destes eixos estruturantes para montante, verifica-se uma progressão gradual dos tempos de viagem, atingindo um patamar máximo de 40 a 50 minutos nas zonas mais periféricas do concelho.

Relativamente ao transporte público, a ligação ao Porto/Polo Universitário é assegurada por três linhas com geografias de captação diferentes. A linha 9801 (Ave Mobilidade) serve o quadrante este do concelho ao longo da EN 105, convergindo na Central de Transportes de Santo Tirso antes de prosseguir pela autoestrada até ao Porto (o mesmo ocorre com a linha 6601 da Unir). Deste modo, para os residentes desta zona, o desempenho depende fundamentalmente da ligação inicial entre as residências e o eixo primário ou a Central de Transportes.

A linha 6603 (Unir), por sua vez, iniciando na Estação Ferroviária de Santo Tirso, converge igualmente na Central de Transportes de Santo Tirso e segue para o Porto ao longo da EN105, servindo especialmente as freguesias do quadrante sul do concelho, sem depender da mesma centralização.

Esta dualidade de percursos ajuda a explicar a assimetria territorial, na qual, na envolvente da Central de Transportes, o tempo de deslocação é reduzido, variando entre 25 e 35 minutos, enquanto nestas freguesias a necessidade temporal é mais elevada, com valores a ultrapassarem frequentemente os 60 minutos.

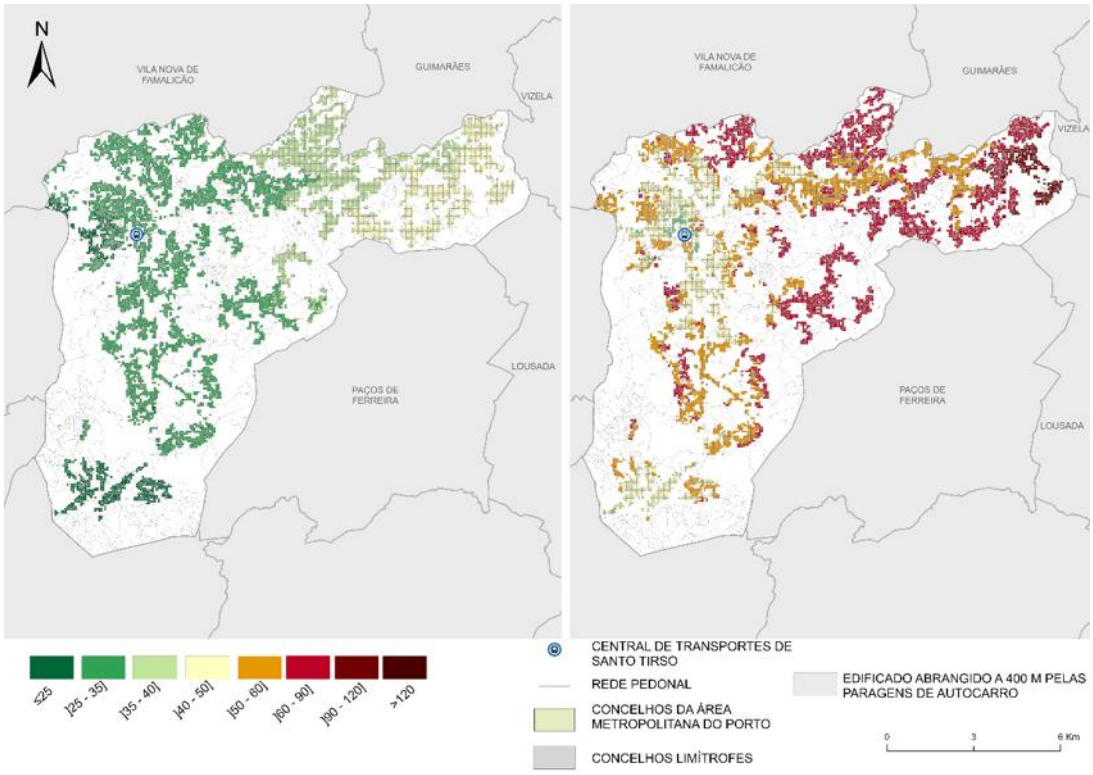


Figura 24. Tempo de viagem entre o transporte público e o transporte individual para o Polo Universitário

Fonte: CAOP, 2023; INE, 2021; OSM, 2025

No que concerne ao diferencial temporal entre os dois modos de transporte (Figura 25), observa-se que em grande parte do concelho a viagem de automóvel situa-se em até 30 minutos. Este desempenho superior no transporte individual é indissociável da infraestrutura de alta capacidade, nomeadamente o acesso às autoestradas, que permitem ligações radiais mais diretas, fluidas e eficazes para o destino.

Em sentido oposto, nas áreas mais afastadas das principais artérias viárias e caracterizadas por uma rede de transporte público com menor densidade de linhas e frequências, o hiato temporal agrava-se significativamente. Nestas zonas periféricas, a diferença situa-se frequentemente entre os 45 e os 60 minutos, atingindo valores críticos que superam os 90 minutos em localizações de maior isolamento geográfico.

Em suma, os resultados da modelação comparativa revelam um território a “duas velocidades”. Por um lado, os eixos servidos por infraestruturas rodoviárias com

capacidade para velocidades mais altas consolidam a hegemonia do automóvel através de ganhos de tempo dificilmente alcançáveis pelo modo coletivo na sua configuração atual. Por outro lado, o diferencial temporal nas periferias atua como um fator de exclusão, onde a diferença temporal é bastante elevada, o que compromete fortemente a competitividade do transporte público.

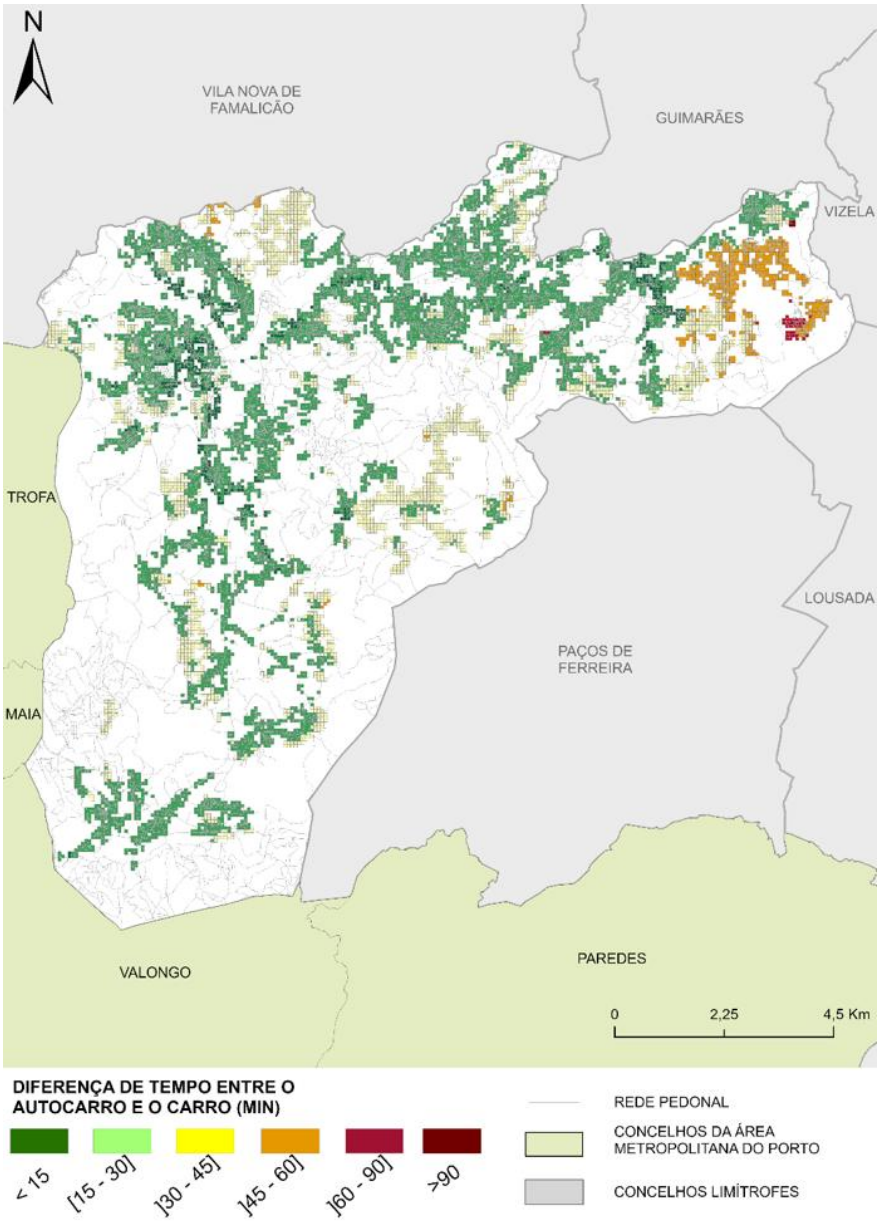


Figura 25. Diferença de tempo entre o transporte público e o transporte individual para o Polo Universitário

Fonte: CAOP, 2023; INE, 2021; OSM, 2025

Tendo como destino a Polo Universitário, cerca de 16.444 habitantes (26,3%) da população abrangida registam uma perda de tempo superior a 30 minutos. As freguesias como Monte Córdova (67,7%), Vila Nova do Campo (50,7%) e Vilarinho (64,3%) são as que apresentam um maior nível de penalização na utilização do serviço de transporte público rodoviário em vez do transporte privado.

Por outro lado, as freguesias como Agrela (9,8%); Água Longa (17,1%) e Rebordões (7,4%) são aquelas que apresentam uma penalização mais reduzida, sugerindo uma ligação geográfica mais favorável ao Porto.

Tabela 11. População servida com perda de tempo superior a 30 minutos entre transporte público rodoviário e o transporte individual, por freguesia com destino ao Polo Universitário - Porto

Freguesia	População estimada abrangida	População com perda > 30 minutos	%
Agrela	1.404	138	9,8%
Água Longa	2.080	356	17,1%
Aves	7.457	1.241	16,6%
Monte Córdova	3.418	2.315	67,7%
Negrelos (São Tomé)	3.531	568	16,1%
Rebordões	2.931	218	7,4%
Reguenga	1.208	227	18,8%
Roriz	3.111	477	15,3%
União das freguesias de Areias, Sequeiró, Lama e Palmeira	5.664	2.018	35,6%
União das freguesias de Carreira e Refojos de Riba de Ave	1.886	439	23,3%
União das freguesias de Lamelas e Guimarei	1.443	579	40,1%
União das freguesias de Santo Tirso, Couto (Santa Cristina e São Miguel) e Burgães	19.065	2.625	13,8%
Vila Nova do Campo	5.975	3.031	50,7%
Vilarinho	3.440	2.212	64,3%

6. Indicador de acessibilidade

No presente capítulo propõe-se o cálculo de um Indicador de Acessibilidade Pendular, com o objetivo de comparar, à escala intra-municipal, o desempenho do transporte público face ao transporte individual nas deslocações pendulares originadas no concelho de Santo Tirso.

O indicador é calculado com base em dois dados de entrada principais: o primeiro corresponde aos tempos de viagem dos edifícios residenciais abrangidos pela área de serviço das paragens de transporte público, calculados anteriormente, até aos principais concelhos de destino dos residentes de Santo Tirso, assim como os tempos de transporte individual para os mesmos destinos. O segundo input corresponde ao peso relativo de cada destino, determinado pela proporção de residentes de Santo Tirso que realizam deslocações pendulares para esse concelho.

O Indicador de Acessibilidade Pendular é calculado através de uma média ponderada, expressa pela seguinte fórmula:

(3)

$$IAP_i = \sum_{j=1}^{n} w_j \times t_{ij}$$

Em que:

IAP_i representa a acessibilidade do ponto "i"

w_j representa o peso de destino j, correspondente à proporção dos fluxos pendulares para esse concelho;

t_{ij} representa o tempo de viagem do ponto i até ao ponto j.

Um valor mais reduzido do IAP indica uma melhor acessibilidade, traduzindo-se num menor tempo médio ponderado para alcançar os principais destinos pendulares.

O indicador é calculado separadamente para o transporte público e para o transporte individual, permitindo uma comparação direta entre os dois modos, assim como a identificação de territórios onde o transporte público apresenta um desempenho

competitivo face ao automóvel, bem como áreas em que o défice de acessibilidade em transporte público é mais acentuado.

O Indicador de Acessibilidade Pendular para os quatro principais destinos foi calculado para a totalidade do edificado residencial de Santo Tirso abrangido pelas paragens, resultando num valor normalizado entre 0 e 1, no qual 1 representa a melhor acessibilidade e 0 a pior. O cálculo, numa primeira fase, considerou os quatro principais destinos pendulares, que em conjunto representam 83,2% dos movimentos pendulares interconcelhios originados em Santo Tirso. A cada destino foi atribuído um peso proporcional ao volume de fluxos pendulares registados: Vila Nova de Famalicão (0,314), Porto (0,288), Guimarães (0,239) e Trofa (0,158), refletindo a relevância relativa de cada ligação para o conjunto da população residente.

Com a agregação dos valores normalizados em uma (*fishnet)*, a representação cartográfica permite identificar espacialmente os padrões de acessibilidade em transporte público à escala intramunicipal.

A Figura 26 apresenta a distribuição espacial do Indicador de Acessibilidade Pendular em transporte público no concelho de Santo Tirso. A leitura do mapa revela uma clara assimetria territorial, com valores mais elevados – correspondendo a uma melhor acessibilidade – a concentrarem-se predominantemente na metade norte do concelho, em particular nas freguesias de Aves, Negrelos (São Tomé), Rebordões e na União de Freguesias de Areias, Sequeiró, Lama e Palmeira, onde os valores superiores a 0,75 são dominantes. Esta distribuição é consistente com a maior densidade de rede de transportes públicos nesta parte do território, beneficiada pela proximidade a Vila Nova de Famalicão e Guimarães, dois dos principais destinos pendulares dos residentes de Santo Tirso.

Os valores mais reduzidos do IAP – inferiores a 0,25, representados a vermelho-escuro concentram-se em dois núcleos distintos: na freguesia de Vilarinho, no extremo nordeste do concelho, na proximidade com Vizela e numa área de transição entre Roriz e Monte Córdova, na zona centro-este do município. Estas áreas combinam uma maior distância aos principais eixos de transporte público com uma orientação

pendular predominantemente interconcelhia, o que agrava o diferencial de acessibilidade face às freguesias bem servidas.

As freguesias de Roriz e aquelas correspondentes à zona sul do concelho apresentam valores intermédios a elevados (0,5 – 0,75), refletindo uma cobertura razoável da rede de transportes, ainda que condicionada pela estrutura dispersa do povoamento característica deste território.

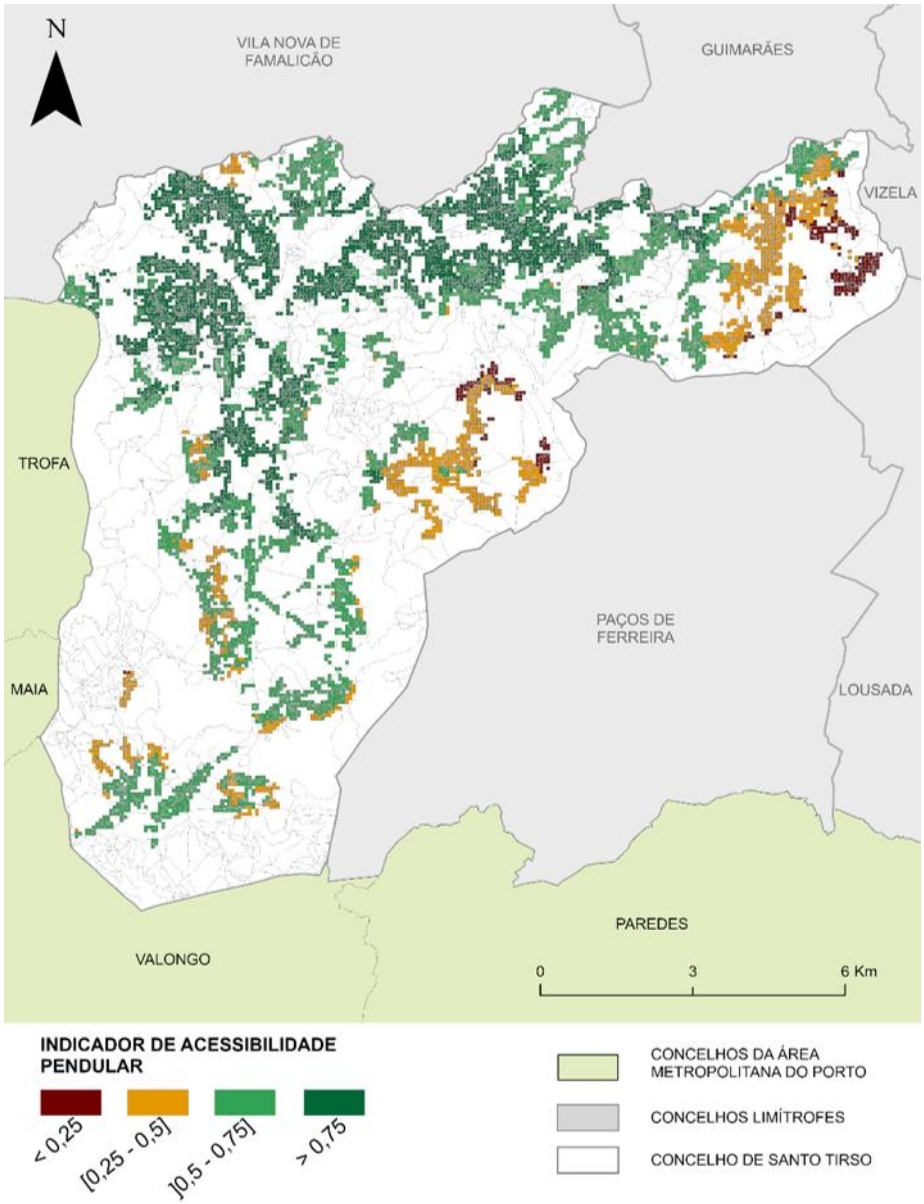


Figura 26. Distribuição do Indicador de Acessibilidade Pendular do transporte público

Fonte: CAOP, 2023

A Figura 27 apresenta a distribuição espacial do Indicador de Acessibilidade Pendular em transporte individual no concelho de Santo Tirso. À semelhante do verificado no transporte público, os valores mais elevados de acessibilidade em automóvel concentram-se na parte ocidental do concelho, na proximidade com o centro urbano, nomeadamente na União de Freguesias de Santo Tirso, Couto (S.Cristina e S.Miguel) e Burgães; União de Freguesias de Areias, Sequeiró, Lama e Palmeira, justificado pela proximidade aos eixos viários estruturantes em direção ao Porto e Trofa, destacando o nó da A3.

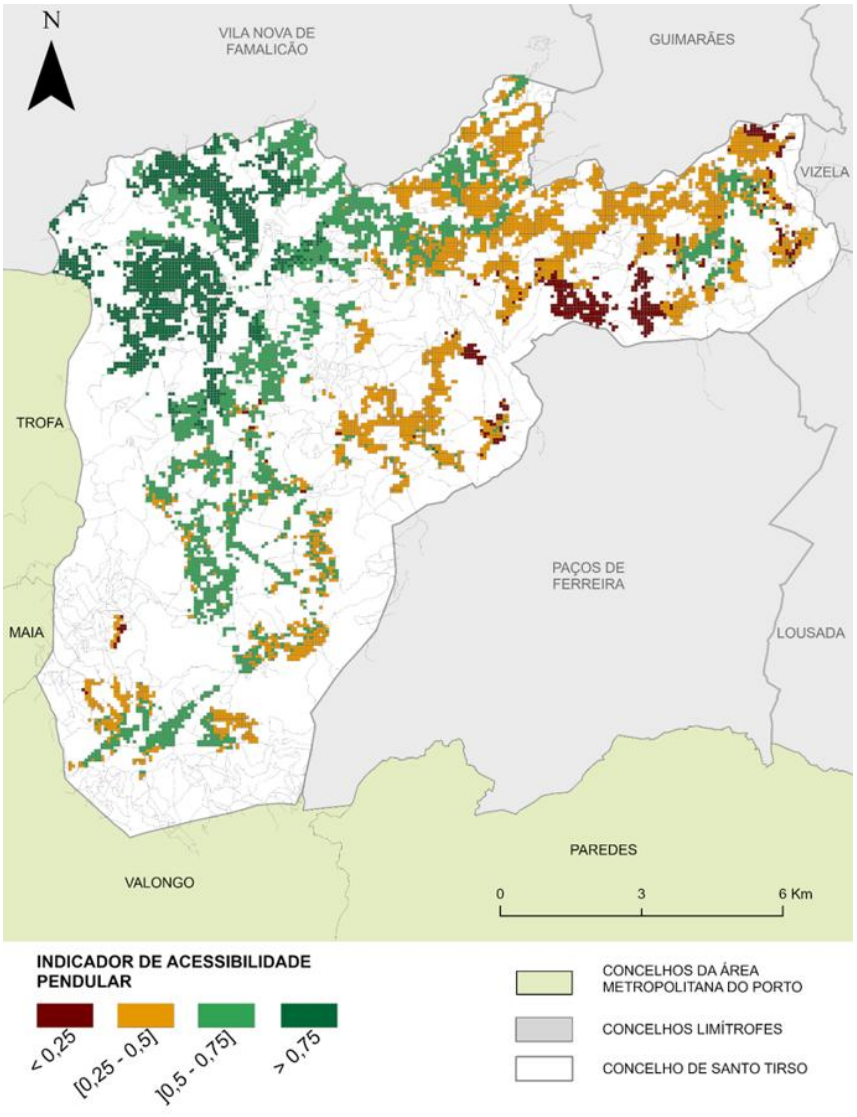


Figura 27. Distribuição do Indicador de Acessibilidade Pendular do automóvel

Fonte: CAOP, 2023

Os valores mais reduzidos do indicador registam-se na metade oriental do concelho, em particular numa faixa contínua que se estende de São Tomé de Negrelos até Vilarinho, onde se concentram valores inferiores a 0,25. Estas áreas correspondem às freguesias que, no Indicador de Acessibilidade Pendular referente ao transporte público, registam os valores mais baixos.

Este padrão espacial sugere que a estrutura territorial de Santo Tirso apresenta um sistema de acessibilidade territorialmente assimétrico. O setor norte e nordeste do concelho é dotado de uma cobertura bimodal: é servido pelo transporte público, impulsionado pela envolvente da interface rodoviária, e pelo transporte individual, devido à proximidade de eixos rodoviários estruturantes, nomeadamente a EN105 e a A3. Esta configuração favorece a conectividade regional com os municípios vizinhos – Vila Nova de Famalicão, Trofa e Porto. Em contrapartida, as áreas ocidental e sul apresentam uma menor cobertura de transporte público, o que resulta numa dependência acrescida do transporte individual por parte da população.

7. Conclusão

A presente dissertação teve como objetivo avaliar a competitividade territorial do sistema de transporte público em Santo Tirso, através da análise comparativa dos tempos de deslocação face ao transporte individual e da abrangência espacial da rede pedonal de acesso. A investigação foi orientada por três questões fundamentais – o diferencial de acessibilidade entre modos, a eficiência da cobertura da rede face à densidade residencial, e a identificação do potencial de mudança modal – às quais se procura responder de forma integrada.

No que respeita à caracterização das dinâmicas pendulares, os resultados confirmam uma forte dependência do automóvel no concelho de Santo Tirso, com 74% das deslocações pendulares realizadas em transporte individual, valor superior à média metropolitana (68%) e nacional (66%). Esta predominância é transversal a todas as freguesias do concelho, ainda que se tenham identificado assimetrias relevantes na sua intensidade, associadas sobretudo à localização geográfica e à proximidade a polos de emprego de concelhos vizinhos. Entre 2011 e 2021, observou-se uma diminuição global da população pendular, acompanhada de um crescimento de 31% nas deslocações de natureza interconcelhia, sugerindo uma crescente orientação dos fluxos pendulares para fora dos limites do município.

Relativamente à eficiência da cobertura da rede de transporte público, a análise da acessibilidade pedonal às paragens revelou um resultado aparentemente favorável: cerca de 91,31% da população do concelho encontra-se abrangida por uma paragem de autocarro num raio de 400 metros, com 81,7% desta população a aceder à rede em menos de 10 minutos a pé. Este diagnóstico demonstra que a rede física de paragens apresenta uma capilaridade adequada à massa crítica populacional do concelho.

Este resultado confirma empiricamente a distinção teórica proposta por Bauchinger et al. (2021), segundo a qual o principal desafio do transporte público em contextos de baixa densidade não reside na ausência de infraestrutura física, mas na incapacidade de gerar acessibilidade funcional real. No mesmo sentido, Walker (2024) sublinha que uma paragem próxima, mas com um serviço ineficiente, não traduz acessibilidade

efetiva, como se verifica em Santo Tirso, onde a proximidade generalizada às paragens coexiste com diferenciais temporais superiores a 40 minutos face ao automóvel. Este desfasamento entre cobertura espacial e desempenho temporal reforça a limitação de indicadores de acessibilidade baseados exclusivamente na dimensão de proximidade (Geurs & van Wee, 2004), evidenciando a necessidade de análises que integrem simultaneamente as componentes de uso do solo, transporte e temporalidade.

A construção do Indicador de Acessibilidade Pendular permitiu sintetizar estes resultados numa leitura espacialmente integrada e diretamente comparável entre modos. Os mapas de acessibilidade evidenciam um território a duas velocidades: por um lado, a metade norte do concelho – nomeadamente as freguesias das Aves, Negrelos, Rebordões e a União de freguesias de Areias, Sequeiró, Lama e Palmeira – beneficia de uma cobertura de transporte público relativamente competitiva, associada à proximidade de Vila Nova de Famalicão, Trofa e Porto, principalmente ao longo dos principais eixos estruturantes do concelho. Por outro lado, a competitividade do transporte individual revela-se mais homogénea em todo o território, com uma amplitude de variação substancialmente inferior à do transporte público, refletindo a influência determinante da rede rodoviária estruturante, em particular o acesso à A3 e à A41.

Este padrão territorial é consistente com a transição identificada por Giuliano e Hanson (2017) de uma lógica centro-periférica para fluxos pendulares mais complexos e transversais, característicos de áreas metropolitanas policêntricas como a Área Metropolitana do Porto. A vantagem relativa das freguesias do norte do concelho, associada à proximidade a múltiplos polos de atração externos, ilustra a dificuldade de sistemas de transporte tradicionalmente radiais em responder eficazmente a esta fragmentação de padrões de mobilidade – uma limitação já antecipada por David e Kilani (2022) relativamente às deslocações periféricas em estruturas metropolitanas dispersas.

Quanto ao potencial de mudança modal, os resultados sugerem que este se concentra sobretudo nas áreas de proximidade aos eixos viários e aos núcleos urbanos consolidados, onde o transporte público já demonstra capacidade de aproximação à

eficiência do automóvel. Nestas zonas, intervenções direcionadas ao reforço da frequência e da ligação direta aos principais destinos pendulares poderão traduzir-se em ganhos efetivos de competitividade modal. Em contraste, nas áreas periféricas e de povoamento mais disperso, a desvantagem estrutural do transporte público — associada à necessidade de transbordos e à ausência de ligações diretas — dificilmente será colmatada através de ajustamentos incrementais à rede atual, podendo justificar a adoção de soluções alternativas, como sistemas de transporte a pedido, para os territórios de menor densidade.

Em síntese, a presente investigação confirma que a dependência do automóvel em Santo Tirso não decorre de uma ausência de cobertura física da rede de transporte público, mas sim de um défice estrutural de competitividade temporal, particularmente penalizador nas deslocações de maior distância e nas áreas mais periféricas do concelho. Este diagnóstico reforça a pertinência de políticas de mobilidade que articulem o reforço da rede de transporte coletivo rodoviário com soluções complementares e de transporte flexível, de forma a reduzir as assimetrias territoriais identificadas e a promover uma transição modal efetiva, fundamental para a sustentabilidade da mobilidade no concelho e para a equidade no acesso aos transportes por parte da sua população.

Como limitações do presente estudo, importa referir que a estimativa da distribuição populacional pelo edificado residencial assume uma distribuição homogénea da densidade habitacional, podendo não refletir integralmente a realidade de ocupação de cada edifício. Adicionalmente, os tempos de transporte público foram calculados com base nos horários programados dos operadores, não considerando eventuais atrasos ou perturbações na circulação que possam ocorrer na operação real do serviço.

Como sugestões para investigação futura, recomenda-se a validação dos resultados obtidos através de inquéritos à população residente, de forma a complementar a modelação espacial com a perceção real dos utilizadores quanto à qualidade e à atratividade do serviço de transporte público. Seria igualmente relevante alargar a análise a outros municípios da Área Metropolitana do Porto com características

periurbanas semelhantes, permitindo aferir até que ponto os padrões identificados em Santo Tirso são representativos de uma problemática mais alargada de mobilidade nos territórios de transição entre o urbano e o rural.

Referências Bibliográficas

Akse, R., Thomas, T., e Geurs, K. (2021). Mobility and accessibility paradigms in Dutch policies: An empirical analysis. *Journal of Transport and Land Use*, *14*(1). https://doi.org/10.5198/jtlu.2021.2097

Amorim, J., e Abreu e Silva, J. (2024). Comparing the application of different justice theories in equity analysis of transit projects: A case study of the Lisbon Metro Circular Line. *Journal of Transport and Land Use*, *17*(1), 21-40. https://doi.org/10.5198/jtlu.2024.1895

Bauchinger, L., Reichenberger, A., Goodwin-Hawkins, B., Kobal, J., Hrabar, M., e Oedl-Wieser, T. (2021). Developing Sustainable and Flexible Rural–Urban Connectivity through Complementary Mobility Services. *Sustainability*, *13*(3). https://doi.org/10.3390/su13031280

Bracarense, L. d. S. F. P., e Ferreira, J. O. N. (2018). Índice de acessibilidade para comparação dos modos de transporte privado e coletivo. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, *10*(3), 600-613. https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.003.ao08

Carroll, P., Benevenutob, R., e Caulfieldb, B. (2021). Identifying Hotspots of Transport Disadvantage and Car Dependency in Rural Ireland. *Transport Policy*, *101*, 45-56. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.11.004

Champion, T., Coombes, M., e Brown, D. L. (2008). Migration and Longer-Distance Commuting in Rural England. *Regional Studies*, *43*(10), 1245-1259. https://doi.org/10.1080/00343400802070902

Charreire, H., Roda, C., Feuillet, T., Piombini, A., Bardos, H., Rutter, H., Compernolle, S., Mackenbach, J. D., Lakerveld, J., e Oppert, J. M. (2021). Walking, cycling, and public transport for commuting and non-commuting travels across 5 European urban regions: Modal choice correlates and motivations. *Journal of Transport Geography*, *96*. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103196

Comissão Europeia. (2020). Mobilidade urbana sustentável na UE: o empenho dos Estados Membros é indispensável para a concretização de melhorias substanciais. https://doi.org/10.2865/362919

Conesa, A., Dere, I., Nihoul, A., Descamps, J., Enaux, C., Hayirlioglu, M., Hirtzel, J., e Pons, A. (2025). Routes to justice: bridging conceived and perceived public transport accessibility through user participation. *Transportation*. https://doi.org/10.1007/s11116-025-10678-7

Conselho Local de Ação Social de Santo Tirso. (2024). Diagnóstico Social de Santo Tirso.

David, Q., e Kilani, M. (2022). Transport policies in polycentric cities. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *166*, 101-117. https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.09.017

Elorduy, J. L., Pino, Y., e Gento, A. M. (2025). Assessing public transport accessibility for people with physical disabilities in burgos, spain: A user-centered approach to inclusive urban mobility. *PLoS One*, *20*(4), e0322068. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0322068

European Environment Agency. (2019). The first and last mile — the key to sustainable urban transport.

García-Palomares, J. C., Gutiérrez, J., e Cardozo, O. D. (2013). Walking Accessibility to Public Transport: An Analysis Based on Microdata and GIS. *Environment*

and Planning B: Planning and Design, *40*(6), 1087-1102. https://doi.org/10.1068/b39008
Geurs, K. T., e van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography*, *12*(2), 127-140. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005
Giuliano, G., e Hanson, S. (2017). *The Geography of Urban Transportation* (4 ed.). https://www.guilford.com/books/The-Geography-of-Urban-Transportation/Giuliano-Hanson/9781462529650
Hansen, W. G. (1959). How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Institute of Planners*, *25*(2), 73-76. https://doi.org/10.1080/01944365908978307
HERE Technologies. (s.d.). GPS Probe Data. https://docs.here.com/traffic-analytics/docs/gps-probe-data
Hess, D. B. (2011). Walking to the bus: perceived versus actual walking distance to bus stops for older adults. *Transportation*, *39*(2), 247-266. https://doi.org/10.1007/s11116-011-9341-1
Interreg Europe. (2024). Demand-Responsive Transport.
Kang, Y., e Lee, G. (2024). Spatiotemporal Population Projections within the Framework of Shared Socioeconomic Pathways: A Seoul, Korea, Case Study. *Sustainability*, *16*(13). https://doi.org/10.3390/su16135719
Karner, A., London, J., Rowangould, D., e Manaugh, K. (2020). From Transportation Equity to Transportation Justice: Within, Through, and Beyond the State. *Journal of Planning Literature*, *35*(4), 440-459. https://doi.org/10.1177/0885412220927691
Kim, S. (2024). Effects of Perceived Accessibility to Living Infrastructure on Positive Feelings Among Older Adults. *Behav Sci (Basel)*, *14*(11). https://doi.org/10.3390/bs14111025
Lättman, K., Olsson, L. E., e Friman, M. (2024). Perceived accessibility: unveiling inequalities in transport justice. *Sustainable Transport and Livability*, *1*(1). https://doi.org/10.1080/29941849.2024.2373050
Leonard Transportation Center. (2011). Guidelines for Transit Bus Stop Spacing Improving Accessibility and Performance.
Litman, T. (2024). Developing Indicators for Sustainable and Livable Transport. *Victoria Transport Policy Institute*.
Lunke, E. B., Fearnley, N., e Aarhaug, J. (2022). The geography of public transport competitiveness in thirteen medium sized cities. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, *50*(8), 2071-2086. https://doi.org/10.1177/23998083221100265
Lwin, K., e Murayama, Y. (2009). A GIS Approach to Estimation of Building Population for Micro-spatial Analysis. *Transactions in GIS*, *13*(4), 401-414. https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2009.01171.x
Martens, K. (2012). Justice in transport as justice in accessibility: applying Walzer's 'Spheres of Justice' to the transport sector. *Transportation*, *39*(6), 1035-1053. https://doi.org/10.1007/s11116-012-9388-7
Martens, K. (2017). *Transport Justice - Designing Fair Transportation Systems*. Routledge.
Martí, P., Jordán, J., e Julian, V. (2024). A flexible approach for Demand-Responsive Public Transport in rural areas. https://doi.org/10.2298/CSIS123456789X

Martínez, M., Rojas, C., Condeço-Melhorado, A., e Carrasco, J. A. (2021). Accessibility Indicators for the Geographical Assessment of Transport Planning in a Latin American Metropolitan Area. *Geographies*, *1*(2), 124-142. https://doi.org/10.3390/geographies1020008

Mishra, S., Welch, T. F., e Jha, M. K. (2012). Performance indicators for public transit connectivity in multi-modal transportation networks. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *46*(7), 1066-1085. https://doi.org/10.1016/j.tra.2012.04.006

Noordveld, M., Fil Kristensen, I., e Adjei, E. K. (2025). Sustainable mobility policy on a rural-urban spectrum: exploring spatial differentiation within the Swedish context. *European Planning Studies*, *33*(10), 1779-1800. https://doi.org/10.1080/09654313.2025.2525486

OECD. (2018). *Rethinking Urban Sprawl*. https://doi.org/10.1787/9789264189881-en

ONU. (2013). Planifier et Configurer Une Mobilité Urbaine.

ONU. (s.d.). United Nations Sustainable Development Action 2015.

Pacheco, E. (2005). Mobilidade e Transportes. *Geografia de Portugal*, 366-374.

Páez, A., Scott, D. M., e Morency, C. (2012). Measuring accessibility: positive and normative implementations of various accessibility indicators. *Journal of Transport Geography*, *25*, 141-153. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.03.016

Pais, F., Sousa, N., Monteiro, J., Coutinho-Rodrigues, J., e Natividade-Jesus, E. (2025). Walking to Public Transport: Rethinking Catchment Areas Considering Topography and Surrogate Buffers. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *14*(5). https://doi.org/10.3390/ijgi14050205

Paulley, N., Balcombe, R., Mackett, R., Titheridge, H., Preston, J., Wardman, M., Shires, J., e White, P. (2006). The demand for public transport: The effects of fares, quality of service, income and car ownership. *Transport Policy*, *13*(4), 295-306. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.12.004

Pucher, J., e Buehler, R. (2017). Cycling towards a more sustainable transport future. *Transport Reviews*, *37*(6), 689-694. https://doi.org/10.1080/01441647.2017.1340234

Rode, P., e da Cruz, N. F. (2018). Governing urban accessibility: moving beyond transport and mobility. *Applied Mobilities*, *3*(1), 8-33. https://doi.org/10.1080/23800127.2018.1438149

Rodrigue, J.-P. (2024). Urban Mobility. *The Geography of Transport Systems*. https://doi.org/10.4324/9781003343196

Silva, C., Altieri, M., e Teixeira, J. F. (2023). Exploring the 15-minutes city: the metropolitan context of Oporto. *U.Porto Journal of Engineering*, *9*(2), 158-173. https://doi.org/10.24840/2183-6493_009-002_001756

Teles, P. (2020). *The urgency of public transport in the context of low-density areas mobility planning - portuguese case.* Committee on Transport and Tourism.

Tennøy, A., Knapskog, M., e Wolday, F. (2022). Walking distances to public transport in smaller and larger Norwegian cities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *103*. https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103169

Thao, V. T., Imhof, S., e von Arx, W. (2023). Demand responsive transport: New insights from peri-urban experiences. *Travel Behaviour and Society*, *31*, 141-150. https://doi.org/10.1016/j.tbs.2022.11.012

Tobler, W. (1993). Three Presentations on Geographical Analysis and Modeling: Non-Isotropic Geographic Modeling; Speculations on the Geometry of Geography; and Global Spatial Analysis (93-1).
Verlinghieri, E., e Schwanen, T. (2020). Transport and mobility justice: Evolving discussions. *J Transp Geogr*, *87*, 102798. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102798
Walker, J. (2024). *Human Transit* (Revised ed.).
Wardman, M. (2014). Valuing Convenience in Public Transport.
White, P. (2009). Pricing Theory and Practice. In *Public Transport: Its planning, management and operation* (5 ed., pp. 137-158). Routledge
Wu, B. S., e Chieh, T.-C. (2025). Visualization of commuting areas and examination of jobs-housing balance with the adoption of excess commuting. *Cities*, *156*. https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105541

Anexos

Anexo 1

Anexo 1. Serviço Mobiave no território de Santo Tirso

Código da Linha	Percurso
100	CIRCULAR SANTO TIRSO
101	SANTO TIRSO - VÁRZEA
102	SANTO TIRSO - AREIAS (INA)
103	ZONA EMPRESARIAL FONTISCOS - AREIAS (C. SAÚDE)
104	SANTO TIRSO - STA. CRISTINA
105	ZONA EMPRESARIAL FREIXEIRO - AREIAS (INA)
106	SANTO TIRSO - S. MIGUEL
107	SANTO TIRSO - BURGÃES (SANTA CRUZ)
110	CIRCULAR VILA DAS AVES
111	SANTO TIRSO - VILA DAS AVES (SOBRADO)
130	FAMALICÃO (ESTAÇÃO RODOVIÁRIA) - SANTO TIRSO (ESTAÇÃO RODOVIÁRIA)
132	SANTO TIRSO (ESTAÇÃO RODOVIÁRIA) - LOUSADO (CONTINENTAL MABOR)
135	SANTO TIRSO - MONTE CÓRDOVA (CABANAS)
136	SANTO TIRSO - VILARINHO (PARADELA)
137	VILARINHO (PARADELA) - VILA DAS AVES
230	RIBA DE AVE (IGREJA) - SANTO TIRSO (ESTAÇÃO RODOVIÁRIA)
231	VILA DAS AVES (ESTAÇÃO FERROVIÁRIA) - FAMALICÃO (ESTAÇÃO RODOVIÁRIA) VIA BAIRRO
270	SANTO TIRSO - S.TOMÉ
271	SANTO TIRSO (ESTAÇÃO FERROVIÁRIA) - ZONA EMPRESARIAL DA ERMIDA
301	SANTO TIRSO (ESTAÇÃO FERROVIÁRIA) - MONTE CÓRDOVA (CAMPO FUTEBOL)
325	S.MAMEDE - VILA DAS AVES
403	VILA DAS AVES - RORIZ (FONTÃO)
404	S.TOMÉ (IGREJA) - RIBA DE AVE
411	VILARINHO (CEMITÉRIO) - S.MARTINHO
412	VILA DAS AVES - AREIAS (INA)
413	RORIZ (SAMOÇA) - S.MARTINHO
430	CARDAL (LANDIM) - VILA DAS AVES (ESTAÇÃO FERROVIÁRIA)

Fonte: Mobiave, 2025

Anexo 2

Anexo 2. Linhas da rede UNIR no concelho de Santo Tirso

Código	Origem	Destino	Percurso / Observações	UT
3504	S. Tirso (ERF)	Póvoa de Varzim (CCT)		UT3
6306	S. Tirso (ERF)	Maia (ISMAI)		UT1
6307	S. Tirso (ERF)	Trofa (Alvarelhos)	Via Bicho	UT1
6315	Santo Tirso (Central)	Trofa (Z.I. Guidães)		UT1
6316	Trofa (Interface)	Porto (Polo Univ./H. S. João)	Pela A3	UT1
6601	S. Tirso (ERF)	Porto (Polo Univ./H. S. João)	Pela A3	UT2
6602	S. Tirso (ER)	Monte Córdova	Via Redundo	UT2
6602	S. Tirso (ER)	Paços de Ferreira	Via Redundo	UT2
6602	S. Tirso (ER)	Paços de Ferreira (Centro)		UT2
6603	S. Tirso (ERF)	Porto (Polo Univ./H. S. João)	Pela N105	UT2
6603	S. Tirso (ERF)	Porto (Polo Univ./H. S. João)	Via Agrela pela N105	UT2
6604	S. Tirso (ERF)	S. Tirso (Agrela)	Via Reguenga	UT2
6605	S. Tirso (ERF)	S. Tirso (Água Longa)	Via Refojos	UT2
6606	S. Tirso (Guimarei)	S. Tirso (Esc. Agrela)		UT2
6607	Freamunde (Centro)	S. Tirso (INA)		UT2
6608	S. Tirso (ERF)	S. Tirso (Lamelas)	Via Guimarei	UT2
6609	S. Tirso (ER)	Paços de Ferreira (Raimonda)	Via Esc. Aves	UT2
6610	S. Tirso (ER)	Paços de Ferreira (Raimonda)		UT2
6610	S. Tirso (ERF Vila das Aves)	Paços de Ferreira (Raimonda)	Via Lordelo (Guimarães)	UT2
6611	S. Tirso (Vale Pisão)	S. Tirso (Esc. Agrela)		UT2
6612	S. Tirso (S. Martinho)	Lousada (Esc. Lustosa)		UT2
6613	Lousada (Centro)	Porto (Polo Univ./H. S. João)	Pela A3	UT2
6614	S. Tirso (Água Longa)	S. Tirso (ARTAVE)		UT2
6614	S. Tirso (Água Longa)	S. Tirso (ERF)		UT2

Fonte: Unir, 2025

Anexo 3

Este anexo documenta o prompt submetido, a resposta gerada pela ferramenta de inteligência artificial e o código final utilizado para calcular o tempo de deslocação de automóvel entre cada edifício e a Central de Transportes de Santo Tirso, através da API pública de roteamento OSRM.

PROMPT PARA OS DESTINOS DOS MOVIMENTOS PENDULARES (SANTO TIRSO; TROFA; VILA NOVA DE FAMALICÃO; GUIMARÃES)

Preciso de um script em Python que leia um CSV com centroides de edifícios (colunas POINT_X, POINT_Y), calcule o tempo de deslocação de automóvel até à Central de Transportes de Santo Tirso usando a API pública OSRM, e grave o resultado num novo CSV, com checkpoints a cada 200 linhas para não perder progresso se o script falhar.

RESPOSTA GERA PELA IA (GEMINI)

```
import pandas as pd
```

```
import requests
import time
import os
 BASE_DIR = r'C:\Users\luisf\Desktop\dissertação\dados\HERE'
CSV_ENTRADA = os.path.join(BASE_DIR, 'edificado_centroide.csv')
CSV_SAIDA = os.path.join(BASE_DIR, 'resultados_CENTRAL_TIRSO.csv')
 DESTINO_LON, DESTINO_LAT = -8.47648, 41.33723
 def calcular_acessibilidade_central():
    if not os.path.exists(CSV_ENTRADA):
        print(f"Erro: Ficheiro {CSV_ENTRADA} não encontrado.")
        return
    df = pd.read_csv(CSV_ENTRADA, sep=None, engine='python',
                     decimal=',', encoding='utf-8-sig')
    df.columns = [c.strip().upper() for c in df.columns]
    if 'tempo_central_min' not in df.columns:
```

```
        df['tempo_central_min'] = None
    for i, row in df.iterrows():
        if pd.notna(row['tempo_central_min']):
            continue
        lon, lat = row['POINT_X'], row['POINT_Y']
        url = (f"http://router.project-osrm.org/route/v1/driving/"
               f"(Karner et al.),(Lättman et
al.);{DESTINO_LON},{DESTINO_LAT}?overview=false")
        try:
            r = requests.get(url, timeout=5)
            dados = r.json()
            if dados.get('code') == 'Ok':
                duracao = dados['routes'][0]['duration'] / 60
                df.at[i, 'tempo_central_min'] = round(duracao, 2)
            else:
                df.at[i, 'tempo_central_min'] = -1
        except:
            df.at[i, 'tempo_central_min'] = -1
         if i % 200 == 0 and i > 0:
            df.to_csv(CSV_SAIDA, index=False, sep=';', encoding='utf-8-sig')
            time.sleep(0.3)
    df.to_csv(CSV_SAIDA, index=False, sep=';', encoding='utf-8-sig')
if __name__ == "__main__":
   calcular_acessibilidade_central()
```

PROMPT PARA O DESTINO PENDULAR PORTO COM API DA HERE TECHNOLOGIES

Preciso de um script em Python que leia um CSV com centroides de edifícios (colunas POINT_X, POINT_Y), calcule o tempo de deslocação de automóvel até ao Pólo Universitário do Porto Usando a API da HERE Technologies, e grave o resultado num novo CSV, com checkpointsa cada 200 linhas para não perder progresso se o script falhar.

RESPOSTA GERADA PELA IA (GEMINI)

```
import pandas as pd
```

```
import requests
import os
 BASE_DIR = r'C:\Users\luisf\Desktop\dissertação\dados\HERE'
CSV_ENTRADA = os.path.join(BASE_DIR, 'edificado_centroide.csv')
CSV_SAIDA = os.path.join(BASE_DIR, 'resultados_PORTO_final.csv')
 API_KEY = '[A_TUA_API_KEY]'
DESTINO = "41.1752,-8.6042"  # Polo Universitário (Porto)
 def processar_tudo():
    df = pd.read_csv(CSV_ENTRADA, sep=None, engine='python',
                     decimal=',', encoding='utf-8-sig')
    df.columns = [c.strip().upper() for c in df.columns]
     if os.path.exists(CSV_SAIDA):
        df_res = pd.read_csv(CSV_SAIDA, sep=';', encoding='utf-8-sig')
    else:
        df_res = df.copy()
        df_res['tempo_carro_min'] = None
     contador = 0
    for i, row in df_res.iterrows():
        if pd.notna(row['tempo_carro_min']):
            continue
         lat, lon = row['POINT_Y'], row['POINT_X']
        url = "https://router.hereapi.com/v8/routes"
        params = {
            'routingMode': 'fast',
            'transportMode': 'car',
            'origin': f"{lat},(Karner et al.)",
            'destination': DESTINO,
```

```
            'departureTime': '2026-05-13T08:30:00',
            'return': 'summary',
            'apiKey': API_KEY
        }
        try:
            r = requests.get(url, params=params, timeout=10)
            dados = r.json()
            if 'routes' in dados and len(dados['routes']) > 0:
                duracao =
dados['routes'][0]['sections'][0]['summary']['duration'] / 60
                df_res.at[i, 'tempo_carro_min'] = round(duracao, 2)
            else:
                df_res.at[i, 'tempo_carro_min'] = -1
        except:
            pass


        contador += 1
        if contador % 100 == 0:
            df_res.to_csv(CSV_SAIDA, index=False, sep=';', encoding='utf-8-sig')
    df_res.to_csv(CSV_SAIDA, index=False, sep=';', encoding='utf-8-sig')
if __name__ == "__main__":
    processar_tudo()
```