



João Pedro Medina Monteiro

AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DA CICLABILIDADE DE UMA REDE VIÁRIA URBANA

MULTICRITERIA ASSESSMENT OF THE CYCLABILITY OF AN URBAN ROAD NETWORK

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação,
orientada pelo Professor Doutor João M. Coutinho Rodrigues e pelo Professor Doutor Nuno M. Marques Sousa.

Coimbra, 23 de julho de 2018



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

João Pedro Medina Monteiro

AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DA CICLABILIDADE DE UMA REDE VIÁRIA URBANA

MULTICRITERIA ASSESSMENT OF THE CYCLABILITY OF AN URBAN ROAD NETWORK

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação,
orientada pelo Professor Doutor João M. Coutinho Rodrigues e pelo Professor Doutor Nuno M. Marques Sousa.

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor.
O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer
responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões
que possa conter.

Coimbra, 23 de julho de 2018

RESUMO

Devido à crescente preocupação com as emissões de gases de efeito de estufa, a congestão nas cidades e o aumento dos preços dos combustíveis, os modos de transporte ativos (também designados por suaves) assumem um lugar de relevância em todo o mundo. Encorajados pela agenda europeia e promovidos por políticas nacionais e locais em vários países, os modos de transporte ativos constituem uma via fundamental para se atingir um ambiente urbano sustentável.

Em especial, a bicicleta é um modo de transporte promissor para a mobilidade urbana somando múltiplos benefícios relativamente aos transportes motorizados. É um transporte competitivo, em tempo de viagem, em meio urbano para distâncias até 5 km, pouco intensivo energeticamente e livre de emissões, possibilitando uma redução da pegada de carbono. A sua utilização apresenta ainda benefícios para a saúde e para a redução de custos socioeconómicos e infraestruturais.

Contudo, são vários os fatores que dificultam o uso da bicicleta como meio de transporte urbano regular. A literatura destaca a segurança, devido a interações com o tráfego motorizado, como um dos principais obstáculos. A implantação de ciclofaixas apresenta-se como a melhor solução. Porém, devido a custos associados à consolidação existente na maioria das zonas urbanas e a restrições arquitetónicas, a sua construção pode ser inviável. Existem outras soluções, como a construção de ciclovias nas vias urbanas ou a partilha da via com o tráfego motorizado, sendo esta última a menos desejável.

Neste trabalho apresenta-se uma metodologia científica de análise multicritério (neste caso multiatributo porque as alternativas são discretas e conhecidas à priori) utilizando o método ELECTRE Tri que classifica cada arco da rede entre mau e bom, de acordo com o seu desempenho em cinco critérios, de modo a avaliar a adequação da rede viária pré-existente à circulação de bicicletas. Os resultados foram adaptados ao SIG (Sistema de Informação Geográfica) o que permite uma melhor visualização dos resultados e permite às entidades responsáveis melhorar as condições de ciclabilidade a partir das características da infraestrutura pré-existente. A metodologia foi criada de modo a possibilitar uma rápida e simples recolha de dados como é demonstrado a partir de um estudo de caso com base na cidade de Coimbra que permite comprovar a sua escalabilidade.

ABSTRACT

Rising concerns over greenhouse emission effects, traffic congestion on cities, increasing prices of fossil fuels, and health issues have led to a surge of interest in active mobility, leading to an important role of the associated transport modes all over the world. Encouraged by the European agenda and promoted by local and national governments around Europe, active mobility is a fundamental way in achieve a sustainable urban environment.

Bicycling, in particular, is a promising mode of transport for urban mobility, adding multiple benefits in comparison to fossil fuel motorized transports. It is competitive with respect to automobiles for distances up to 5 km, it has low energy intensity and is emissions-free, thus allowing a decrease of one's carbon footprint. Cycling also provides health and socioeconomic benefits, as well as a lower expense on infrastructures.

However, the mass use of bicycles is hard to implement due to several factors. The literature highlights safety concerns as one of the main obstacles, mostly due to the (inevitable) need to interact with motorized traffic. Traffic segregation is one of the most desirable ways to address safety issues, but because of construction costs, highly consolidated urban areas and architectonic restrictions, building bicycle paths in a large scale is not always viable. There are, however, other solutions, like bicycle lanes or even shared lanes with motorized traffic, even though this last one should be considered as a last resort solution.

This thesis introduces a scientific multicriteria methodology to evaluate the adequacy of the existing streets network and intersection infrastructure to the cycling mode. The methodology makes use of the multicriteria ELECTRE Tri method, which classifies each network arc from “poor” to “very good”, according to its performance on five criteria. The output, which can be plugged into a GIS for visualisation purposes, provides decision makers with a way to analyse the present situation and naturally suggests improvement strategies to the existing infrastructure, which can foster the choice for the cycling mode. The methodology was designed to allow for a quick and simple data collecting procedure and is demonstrated by a case study of the city of Coimbra, Portugal, which also proves its claimed scalability.

ÍNDICE

RESUMO	i
ABSTRACT	i
Índice	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE QUADROS	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento do Tema	1
1.2 Metodologia	3
1.3 Estrutura da Dissertação	4
2 ESTADO DA ARTE	5
2.1 Bicicleta: Um Modo de Transporte Urbano Diário Viável – Frentes de Ação.....	5
2.1.1 Padrão de Ocupação Territorial	5
2.1.2 Hierarquização Viária e as Bicicletas	5
2.1.3 A Problemática das Interseções	6
2.1.4 Aspetos Culturais Perante o Uso da Bicicleta	6
2.1.5 A Sensação de Segurança como Incentivo ao Uso da Bicicleta.....	7
2.1.6 Infraestruturas de Apoio e Intermodalidade	7
2.1.7 Ultrapassar os Declives	8
2.1.8 Incentivo à Bicicleta: Pensar num Futuro Sustentável	9
2.2 Métodos de Avaliação da Qualidade de Infraestruturas Cicláveis	9
2.3 Metodologia Utilizada	11
2.3.1 Métodos Multicritério.....	11
2.3.2 ELECTRE Tri.....	12
3 ESTUDO DE CASO	14
3.1 Critérios e Características Analisadas.....	14
3.2 Levantamento dos Dados	22
3.3 Visão Geral das Características Recolhidas e Critérios	25
3.4 Análise dos Dados com Recurso ao ELECTRE Tri	34
3.5 Análise dos Resultados da Avaliação Multicritério.....	36
3.5.1 Resultados com o Conjunto de Pesos P1 – Ênfase na Segurança dos Ciclistas ..	37
3.5.2 Resultados com o Conjunto de Pesos P2 – Ênfase no Conforto dos Ciclistas ...	40
3.5.3 Comparação dos Resultados Obtidos a Partir dos Conjuntos de Pesos P1 e P2	42
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45

4.1	Metodologia de Aplicação	45
4.2	Conclusões	46
4.3	Trabalhos Futuros	48
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Comparação dos tempos de deslocação e distância dos principais modos de transporte urbanos. Fonte: EC, 2000	2
Figura 2.1 - Definição de categorias a partir de perfis limite	13
Figura 3.1 - Evolução dos valores em função da largura – Via comum.....	17
Figura 3.2 - Evolução dos valores em função da largura – Ciclovias ou ciclofaixas <i>1-way</i> ...	18
Figura 3.3 - Evolução dos valores em função da largura – ciclofaixas <i>2-way</i>	18
Figura 3.4 - Cálculo da largura de ciclovias e de ciclofaixas (National Cycle Manual, National Transport Authority, 2011).....	19
Figura 3.5 - Folha de levantamento de dados in situ	23
Figura 3.6 - Zonas em estudo da cidade de Coimbra, Portugal.....	24
Figura 3.7 - Conservação do pavimento (0 – muito bom; 4 – inadequado)	26
Figura 3.8 - Critério conforto (0 – inadequado; 4 – ideal)	27
Figura 3.9 - Volume de tráfego motorizado (0 – muito baixo; 4 – elevado).....	28
Figura 3.10 - Critério segurança (0 – muito baixa; 4 – ideal nível de segurança).....	29
Figura 3.11 - Critério envolvente (0 – inexistente; 3 – elevado).....	30
Figura 3.12 - Critério largura (0 – inadequado; 1 – muito bom).....	32
Figura 3.13 - Critério interseções (0 – impossibilidade de circulação sem desmonte; 4 – inexistência de conflito).....	33
Figura 3.14 - Classe dos arcos delimitadas pelas alternativas de referência A1, A2, A3	35
Figura 3.15 - Resultados com o conjunto de pesos P1 (global): classe 1 (a pior) a classe 4 (a melhor).....	37
Figura 3.16 - Resultados com o conjunto de pesos P2 (global): classe 1 (a pior) a classe 4 (a melhor).....	40
Figura 3.17 - Comparação dos resultados (globais) obtidos com os conjuntos de pesos P1 (ênfase na segurança) e P2 (ênfase no conforto)	42
Figura 3.18 - Exemplos práticos dos arcos levantados e respetiva classificação	44

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 - Quadro resumo dos critérios e características consideradas	21
Quadro 3.2 - Matriz de decisão	34
Quadro 3.3 - Quadro resumo dos resultados obtidos para o conjunto de pesos P1 (ênfase na segurança)	43
Quadro 3.4 - Quadro resumo dos resultados obtidos para o conjunto de pesos P2 (ênfase no conforto)	43

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do Tema

A bicicleta em modo urbano tem diversos benefícios comparativamente aos modos de transporte motorizado, dos quais se destacam os ganhos ambientais e energéticos, maior eficiência no sistema de transportes e melhoria da saúde da população em geral (IMT, 2012).

Em termos ambientais, com o crescente aumento da preocupação com as emissões de gases de efeito de estufa e o aumento do preço dos combustíveis fósseis, os modos de transporte ativos têm vindo a aumentar a sua importância e viabilidade em meios urbanos a nível mundial (Majumdar e Mitra, 2015).

Em áreas urbanas com elevado congestionamento, a bicicleta permite não só diminuir os tempos de viagem e de procura de estacionamento, mas também a redução de áreas dedicadas ao estacionamento. À vista disso, com a diminuição de veículos motorizados, o congestionamento de veículos motorizados também irá reduzir, assim como a emissão de gases e a necessidade constante de aumentar o espaço de estacionamento e de novas infraestruturas de mobilidade motorizada, como a criação de novas circulares e autoestradas (Allen-Munley e Daniel, 2006).

Relativamente à saúde, Davis *et al.* (2007) *apud*. Buekers *et al.* (2015) apresenta uma elevada correlação entre o aumento da obesidade associado ao número de viagens realizadas por carro. Também a poluição do ar, sonora, o congestionamento e a falta de interação social, são fatores de risco para a saúde da população urbana, resultando em consequências como doenças pulmonares ou doenças de foro mental (De Nazelle *et al.*, 2011).

A bicicleta também se apresenta bastante competitiva nos tempos de viagem, principalmente em distâncias até 5 km (IMT, 2013). A Figura 1.1 apresenta a comparação dos tempos de deslocação em função das distâncias dos transportes mais comuns em áreas urbanas onde se torna evidente a competitividade da bicicleta.



Figura 1.1 - Comparação dos tempos de deslocação e distância dos principais modos de transporte urbanos. Fonte: EC, 1999

De todos os aspetos já referidos, advêm vantagens económicas obtidas a partir da redução do consumo e dependência energética, da redução do congestionamento rodoviário e de despesas com a saúde (IMT, 2012).

Com claras vantagens, o modo ciclável é um tema com uma crescente importância na última década, não só em termos académicos e de investigação, mas também em termos governamentais a nível local, regional e nacional, ativamente encorajado pela agenda europeia. Existe um número crescente de países desenvolvidos e em desenvolvimento a tratarem de forma ativa a viabilidade do modo ciclável (Oja *et al.*, 1998 *apud* Goeverden *et al.*, 2015).

Destacam-se exemplos como a Irlanda, com a criação de incentivos financeiros para a compra de bicicletas (Caulfield, 2014) ou a cidade de Londres (Inglaterra) pela criação de um guia de desenho de ciclofaixas (Mayor of London, 2014).

Portugal não é exceção e criou o Plano de Promoção de Bicicleta e Outros Meios Suaves que pretende refletir a relevância ambiental, económica e social dos diversos modos ativos no espaço urbano. Dentro do plano integra-se o CiclAndo – Plano de Promoção da Bicicleta e Outros Modos Suaves (2013-2020) que define os objetivos estratégicos e os diferentes eixos de atuação do plano. Também o Instituto da Mobilidade e dos Transportes (IMT) tem vindo a promover a mobilidade ativa, apresentando diversos projetos de onde se destaca o Projeto U-Bike, no qual o objetivo é promover a bicicleta nas comunidades académicas, criando hábitos regulares de utilização (IMT, 2016).

Com o crescente aumento do modo ciclável, uma das questões emergente é como este modo ativo pode ser promovido de forma eficiente. Países como a Dinamarca e a Holanda têm um longo historial que se iniciou na década de 1970, com intervenções em grande escala, não só a nível de promoção, mas também de infraestruturas (Goeverden *et al.*, 2015). São por isso países

que servem como exemplo e caso de estudo para todos os países que pretendem promover o uso diário da bicicleta como modo de transporte.

Consequentemente, é essencial um adequado nível de segurança e de conforto dos ciclistas de modo a criar um ambiente de circulação adequado para todos os utilizadores da rede. Criar um ambiente de circulação adequado para todos os utilizadores é uma tarefa complicada tendo em conta que muitos dos centros urbanos existentes em Portugal têm um elevado nível de consolidação e uma grande relevância histórica, que impõe condições de circulação inadequada para a simbiose entre os diferentes modos de transportes. Cada vez mais é preciso considerar a qualidade de serviço das redes cicláveis no planeamento, no desenho e na gestão de qualquer sistema de transportes (Beura e Bhuyan, 2017).

1.2 Metodologia

Neste trabalho desenvolveu-se uma metodologia, com base numa análise multicritério capaz de avaliar a adequação da rede urbana pré-existente de modo a acomodar a circulação dos ciclistas com base em critérios compostos e simples como: o conforto (tipo e estado de conservação do pavimento), a segurança (volume de tráfego motorizado, volume de tráfego motorizado pesado e separação), a envolvente (estacionamentos e logradouros), a largura e análise das interseções. No quarto capítulo deste trabalho são apresentadas descrições mais detalhadas dos critérios usados, bem como os resultados obtidos para o estudo de caso.

Assim, pretende-se disponibilizar um instrumento que permita às entidades responsáveis melhorar as condições de ciclabilidade, tendo em conta as infraestruturas pré-existentes. Na demonstração da metodologia, apresentam-se os resultados obtidos da sua aplicação a parte da rede viária de três zonas distintas da cidade de Coimbra, Portugal: zona da Baixa, Bairro Norton de Matos e zona da Solum. Recorreu-se ao método multicritério ELECTRE Tri com o apoio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em quatro capítulos.

Neste capítulo é apresentado o enquadramento geral do tema e subsequente objetivo do trabalho.

No capítulo seguinte é apresentada uma revisão bibliográfica sobre alguns conceitos relacionados com a avaliação da ciclabilidade de redes e as frentes de ação, de modo a tornar a bicicleta num modo de transporte viável. Está estruturado numa seção que inclui os tópicos: padrão de ocupação territorial, hierarquização viária e as bicicletas, a problemática das interseções, a mentalidade da população perante o uso da bicicleta, a sensação de segurança como incentivo ao uso da bicicleta, infraestruturas de apoio e intermodalidade, ultrapassar os declives e incentivo à bicicleta: pensar num futuro baseado na mobilidade sustentável.

No terceiro capítulo, referente ao estudo de caso, é descrito o método utilizado, o ELECTRE Tri, a metodologia usada no levantamento de dados e são analisados os resultados obtidos a partir da análise multicritério aplicada.

No último capítulo são apresentadas as considerações finais a respeito do tema desenvolvido nesta dissertação, bem como as possíveis aplicações da metodologia multicritério em análise e trabalhos futuros.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Bicicleta: Um Modo de Transporte Urbano Diário Viável – Frentes de Ação

Com o crescente interesse no uso da bicicleta, como um modo de transporte ativo utilizado diariamente em zonas urbanas, decisores municipais, assim como as autoridades locais e nacionais interrogam-se sobre as alterações e medidas necessárias a aplicar de modo a viabilizar o seu correto e seguro uso, aumentando assim o número de utilizadores diários deste modo de transporte ativo. Em seguida, neste subcapítulo, apresentam-se algumas frentes de ação e fatores que deverão ser considerados aquando uma análise a uma dada zona urbana.

2.1.1 Padrão de Ocupação Territorial

São inúmeros os artigos e manuais referentes à correta e ideal conceção de infraestruturas cicláveis. Todavia, grande parte das soluções não são aplicáveis em espaços urbanos consolidados, situação muito comum na grande maioria dos países europeus que ainda não têm uma forte influência da cultura da bicicleta, como é o caso de Portugal.

Em Portugal é possível observar centros urbanos com um grande peso histórico e influências de diversas culturas com espaços reduzidos de circulação, em grande parte devido ao crescimento em extensão e desorganizado das cidades com o afastamento entre os locais de residência, comércio, serviços e equipamentos. Foram criados espaços monofuncionais que provocam um desequilíbrio entre os diversos meios de transporte, aumentando a necessidade de utilização de veículos motorizados. Observa-se também um grande investimento público em infraestruturas para transportes motorizados nas últimas décadas (IMT, 2012). Atualmente o grande desafio é a criação de infraestruturas adequadas para os ciclistas que permita uma adaptação ao ordenamento já existente.

2.1.2 Hierarquização Viária e as Bicicletas

Segundo Seco *et al.* (2008), os arruamentos rodoviários urbanos necessitam de responder a diversas funções, desde a mobilidade, acessibilidade e vivência urbana. Estes dividem-se em vias com funções coletoras, distribuidoras principais, distribuidoras locais e acessos locais. A cada tipo de via correspondem determinadas características que influenciam a análise da ciclabilidade da rede e como são tratados os ciclistas de modo a garantir a segurança de todos os utilizadores e as funções do arruamento. Sendo assim, é essencial na análise de uma rede

ciclável ter em conta a hierarquização viária, recolhendo as características dos arcos que permitem classificar a sua hierarquização.

2.1.3 A Problemática das Interseções

A maioria dos acidentes com bicicletas ocorrem em interseções (*National Transport Authority*, 2011). As interseções representam zonas nas quais o ciclista é usualmente obrigado a partilhar o espaço com os veículos motorizados, e necessita de reduzir a sua velocidade de circulação. Existe uma grande diversidade de interseções que podem variar conforme o volume de tráfego, a sua geometria ou a sua tipologia. Consequentemente, a análise das interseções existentes deverá ser tida em conta (ACIRN, 2013). Muitas das vezes, de modo a aumentar a segurança do ciclista, torna-se necessário diminuir a praticabilidade do atravessamento do ciclista, o que nalgumas situações pode significar o desmonte da bicicleta. Por outro lado, uma tentativa de aumentar a rapidez e fluidez do atravessamento para o ciclista pode causar a diminuição da sua segurança. É por isso essencial que as interseções tenham características que permitam combinar um adequado nível de serviço com a segurança, aumentando as condições de ciclabilidade da rede.

2.1.4 Aspetos Culturais Perante o Uso da Bicicleta

Desde logo é essencial distinguir o utilizador recreacional do comutativo. Entende-se por recreacional um uso para fins de lazer e de exercício físico sem ter em conta tempos de viagens ou o caminho mais direto, sendo mais comum aos fins de semana ou férias. Por outro lado, por comutativo compreendem-se viagens diárias com pontos de partida e chegada diferentes, onde o tempo de viagem e a rapidez já são fatores relevantes (AASHTO, 2010).

Um utilizador comutativo utiliza a bicicleta como meio de transporte, e em países industrializados a bicicleta é vista como um meio de transporte marginalizado com graves problemas de igualdade de utilização, tanto em idade como em género (Pucher e Buehler, 2008).

Além disso, em Portugal, um utilizador de bicicleta é visto como um “*outsider*”, “*ecologista*” ou “*radical*”. Não obstante, a bicicleta ainda é considerada um meio de transporte de baixo nível socioeconómico, com uma associação para a incapacidade monetária de possuir um carro (CiclAndo, 2012). A perceção de pobreza associada ao uso de bicicleta não é exclusiva a Portugal, de acordo com Verma *et al.* (2016) e Law e Karnilowicz (2015), sendo que o mesmo ocorre na Índia e na Austrália.

Por isso, a transformação da bicicleta como um meio de transporte viável passa também pela mudança de mentalidade e perceção da população.

2.1.5 A Sensação de Segurança como Incentivo ao Uso da Bicicleta

Atualmente, grande parte dos ciclistas, em troca de um meio de transporte saudável e que promete melhorar a qualidade ambiental, têm de aceitar um elevado risco de acidentes de tráfego e possível morte, o que para muitos pode ser um preço demasiado alto a pagar. Por isso não consideram a bicicleta como um meio efetivo de transporte (Edwards e Mason, 2014).

Pucher e Buehler (2008), a partir da análise de países como a Holanda, Dinamarca e a Alemanha onde a bicicleta se encontra consolidada como um meio de transporte vastamente usado, retiraram sete pontos-chave que devem ser considerados de modo a desenvolver a segurança dos ciclistas: infraestruturas bem dimensionadas e em bom estado de conservação para o uso segregado do tráfego motorizado por ciclistas, adequada simbiose nas interseções, aplicação de medidas de acalmia de tráfego, providência de estacionamento para bicicletas, coordenação com os transportes públicos (intermodalidade), política de educação e segurança rodoviária, e leis que definam o estatuto do ciclista na via pública.

Em especial, relativamente às infraestruturas, segundo um estudo realizado por Cauwenberg *et al.* (2018) concluiu que no que diz respeito à infraestrutura ciclável, aspetos como a separação do tráfego motorizado, largura e existência de obstáculos são pontos-chave na perceção de segurança por parte dos utilizadores. A segurança relativamente ao tráfego motorizado, nos atravessamentos de interseções e as condições de manutenção das infraestruturas são também pontos críticos para o aumento da sensação de segurança por parte dos utilizadores.

Deste modo, é essencial o planeamento e construção de infraestruturas com grande qualidade que permitam aos ciclistas estarem e sentirem-se em segurança, de modo a atrair um maior número de utilizadores.

2.1.6 Infraestruturas de Apoio e Intermodalidade

Para aumentar o uso diário da bicicleta não basta só melhorar as condições de circulação. É também necessário criar ou aumentar as infraestruturas de apoio ao ciclista e medidas que possibilitem o aumento da intermodalidade urbana (Pucher *et al.* 2010).

Em termos de infraestruturas, destacam-se estacionamentos específicos para bicicletas em zonas centrais preferencialmente protegidos e com algum tipo de segurança, balneários que tanto podem ser públicos ou privados para o uso dos ciclistas, e oficinas de bicicletas que providenciem arranjos, acessórios e até mesmo lavagens.

Relativamente aos estacionamentos para bicicletas e balneários, são diversos os estudos já realizados sobre o seu impacto, não só no incentivo de novos utilizadores, mas na sua importância para quem já faz da bicicleta o seu modo de transporte. Buehler (2012) pôde concluir que ambos estão associados não só a um maior número de ciclistas, mas também a um maior incentivo para os novos utilizadores. De facto, a junção dos dois tem uma maior

influência em ambos os grupos do que apenas a criação de estacionamento. No espectro contrário, o estudo também concluiu que a criação ou existência de estacionamento grátis para veículos motorizados está associado a um menor uso da bicicleta como modo de transporte. De acordo com Pucher *et al.* (2010), relativamente à influência das oficinas ainda não existem estudos, contudo a sua influência será presumidamente positiva devido a todos os serviços e comodidades que podem oferecer.

Intermodalidade é o uso de diversos modos de transporte numa única viagem e é um tópico cada vez mais abordado a nível mundial. A intermodalidade concorre com o carro, o modo de transporte mais flexível e conveniente de viajar. Contudo, a favor da intermodalidade está a necessidade inerente de uma grande necessidade de espaço para estacionamento, o congestionamento e problemas energéticos e ambientais associados ao carro. A bicicleta pode tomar um papel importante na intermodalidade, tendo em conta que os transportes públicos não abrangem cidades completas (Gebhardt *et al.*, 2016).

Com o aumento da aposta na intermodalidade por parte dos municípios, cada vez mais o seu objetivo passa também por fornecer um serviço ambientalmente sustentável no qual a bicicleta passará a ter um lugar de destaque. A bicicleta pode ser utilizada em qualquer etapa do percurso, seja na ligação inicial a um modo de transporte público como na ligação final. Pode ser disponibilizada a partir de um serviço de *bike-sharing* ou ser um objeto pessoal, havendo estacionamento perto de estações e paragens, assim como condições de transporte nos veículos públicos. As alternativas e soluções são vastas, e por isso a intermodalidade com a integração da bicicleta difere de zona urbana para zona urbana (Bachand-Marleau *et al.* 2011).

2.1.7 Ultrapassar os Declives

Um dos grandes dissuasores do uso da bicicleta como modo de transporte é a influência do declive nos percursos. Este torna-se ainda mais relevantes em muitas cidades portuguesas e europeias idealizadas com base em fins militares (Tralhão *et al.*, 2014).

Enquanto ciclista, a inclinação do percurso é muito importante. Inclinações acima de 5% são desaconselháveis devido não só à dificuldade imposta na subida, mas também na descida causando desconforto ou um aumento inadvertido da velocidade que poderão causar situações de risco. Um comprimento exagerado com inclinações acima de 5% pode forçar o ciclista a desmontar da bicicleta ou a escolher um caminho alternativo mais longo ou com menores condições de segurança (Ribeiro *et al.*, 2013).

Uma das soluções possíveis, de acordo com Tralhão *et al.* (2014) poderá passar pela implementação de mecanismos de ajuda, como elevadores, funiculares ou rampas que permitam melhorar a qualidade do percurso. A escolha dos mecanismos, o número necessário e as suas localizações ideais, constituem uma área de estudo essencial para cidades declivosas. Em

conjunto com todos os aspetos já mencionados anteriormente, permitem tornar a bicicleta num modo de transporte equacionável para a população e fomentar o número de utilizadores.

2.1.8 Incentivo à Bicicleta: Pensar num Futuro Sustentável

Como foram apresentados, são diversos os problemas presentes que influenciam o uso da bicicleta e que têm sido ativamente estudados de modo a torná-la num modo de transporte que atraia cada vez mais utilizadores.

Porém, com inúmeros países a criar políticas de apoio de modo a aumentar o uso bicicleta é preciso ter em conta que um maior número de ciclistas pode significar um aumento de acidentes, feridos e até fatalidades. De facto, é imensurável o número de autores que abordam as vantagens para a saúde e para o ambiente que o aumento do uso da bicicleta pode trazer, porém poucos analisam as consequências desse aumento em termos da segurança rodoviária (Caulfield, e Short, 2014).

Esta preocupação já está presente em diferentes manuais, realçando-se o *London Cycling Design Standards* (2014), que demarca logo no início a importância de um crescimento planeado que permita acomodar com segurança e conforto um número cada vez maior de ciclistas, de maneira a que esse crescimento seja considerado na adaptação e construção das infraestruturas no presente.

A análise que irá ser realizada nesta dissertação, focar-se-á na infraestrutura existente de modo a avaliar a sua ciclabilidade. Aspetos como o padrão de ocupação territorial ou a influência da hierarquização viária no uso da bicicleta irão ser considerados na avaliação multicritério proposta. Contudo, esta análise é apenas uma parte de um processo maior que permitirá transformar a bicicleta num modo de transporte viável em zonas urbanas já consolidadas, como é o caso da cidade de Coimbra, que servirá de estudo de caso.

2.2 Métodos de Avaliação da Qualidade de Infraestruturas Cicláveis

Cada vez mais o modo ciclável é visto como uma solução necessária nas zonas urbanas, o que faz com que os engenheiros necessitem de métodos mais eficientes de estimar a qualidade das viagens de bicicleta, enquanto que os planeadores necessitam de melhores técnicas para acomodar os ciclistas nos diversos arcos da rede viária urbana (Callister e Lowry, 2013).

De acordo com Callister e Lowry (2013), o trabalho pioneiro foi realizado por Davis (1987) que desenvolveu o *Bicycle Safety Index Rating* (BSIR), um indicador calculado com base numa recolha de dados de diferentes características de cada arco, como as condições do pavimento, existência de estacionamento, entre outras. Os valores são de seguida combinados num valor final. Posteriormente é atribuída uma classificação de bom, fraco ou mau ao índice obtido.

Até este ponto os métodos existentes não tinham em consideração todas as características de um arco, existindo três tipos de análise distintas para a avaliação da qualidade das infraestruturas: baseadas no nível de *stress* imposto ao ciclista ou nas condições dos pavimentos e localização ou no nível de serviço prestado (Turner *et al.*, 1997).

Em 1997, Turner *et al.*, com o apoio do *Texas Department of Transportation* desenvolveram o *Bicycle Suitability Criteria* (BSC) de modo a analisar a adequação da rede viária ao tráfego de bicicletas, tendo em conta características como o volume e velocidade do tráfego motorizado, comprimento das diferentes vias de trânsito e as condições do pavimento. Após a recolha dos valores dos diversos parâmetros, os mesmos são classificados de acordo com tabelas-guia e aglutinados numa expressão numérica de soma. O valor final obtido a partir da expressão também é classificado a partir de valores já tabelados.

Emery e Crump (2003) desenvolveram um método de análise, *Bicycle Suitability Assessment* (BSA), que assenta na participação de cidadãos interessados. Foi desenvolvido um livro guia que pretende disponibilizar o conhecimento necessário a qualquer cidadão de modo a analisar e classificar os diferentes arcos tendo em conta as suas características, como a largura da via mais à direita, a largura da ciclovia (se existente), as condições do pavimento e a localização do arco. Após a recolha dos dados, estes são somados e é atribuída uma classificação final. O método incentiva a participação de um conjunto alargado de observadores de modo a diminuir a subjetividade.

O *Transportation Research Board* (TRB), em 2010 na quinta edição do *Highway Capacity Manual*, apresentou o método *Bicycle Level Of Service* (BLOS), um método que recorre a uma equação não linear e descontínua de modo a obter uma classificação, denominada por índice de perceção, que atribui um valor final a cada arco. O índice de perceção tem em consideração características do arco como o número de vias no sentido de circulação do ciclista, o fluxo horário de veículos, velocidade de circulação dos veículos motorizados, a percentagem de veículos pesados, a condição dos pavimentos e a proporção de estacionamento em paralelo. A aplicação da equação não é direta, existindo algumas funções que agregam parte das características levantadas. O método ainda providencia valores pré-definidos para alguns dos parâmetros de modo a simplificar o levantamento; contudo, não aconselha a utilização dos valores pré-definidos a não ser em casos onde não é possível recolher todos os dados necessários (Callister e Lowry, 2013).

Com base no método BLOS, Krykewycz *et al.* (2011) *apud* Callister e Lowry (2013) testaram a inclusão da participação pública, não na recolha de dados, mas numa análise e refinamento posterior dos dados recolhidos. Desta forma pretendeu-se otimizar o tempo dos observadores no levantamento dos dados, que depois seriam revistos pela participação pública a partir de uma base de dados disponíveis on-line. Os resultados iniciais foram positivos, evidenciando vantagens na participação pública; porém, devido a uma recolha e análise de dados menos

fiável, mais estudos seriam necessários de modo a verificar se o método pode ser utilizado para a tomada de decisões.

Beura *et al.* (2017) transformaram a formulação apresentada no método BLOS para analisar apenas as características das interseções, e a partir das mesmas, atribuir uma classificação final de acordo com a sua aptidão para a circulação dos ciclistas. Neste estudo foram consideradas características como o volume e características do tráfego, o número de pesados e veículos motorizados de duas rodas, a geometria das interseções e a sua envolvente. O método provou ser preciso e eficiente para a análise e classificação de interseções, mas muito extenso e detalhado.

Beura e Bhuyan (2017) desenvolveram um método baseado em técnicas de inteligência artificial, *Functional Networks* (FNs), e no método BLOS. Sendo um método muito mais complexo que os previamente apresentados, de acordo com os autores, a aplicação das novas técnicas é equivalente a aplicar arquitetura ao mundo físico. O levantamento das características de cada arco é baseada no método BLOS e define quatro classes de dados a recolher: localização dos arcos na rede urbana, geometria dos arcos, composição e volume de tráfego, e padrões de utilização do solo. A recolha de dados é realizada por um grupo de cidadãos aleatórios, sendo que a recolha é realizada *in situ* ou através da análise de gravações vídeo dos arcos. O método demonstrou ser muito preciso, mas com limitações devido à sua complexidade e à heterogeneidade do fluxo de tráfego muito característicos do país de origem, a Índia.

2.3 Metodologia Utilizada

2.3.1 Métodos Multicritério

Nesta dissertação pretende-se resolver um problema de classificação multicritério. Na posição de decisor, existe pela frente um problema com diferentes dimensões da realidade, imposições e objetivos, que necessitam de ser tidos em conta. Os métodos multicritério possibilitam ao decisor ter em consideração todos os diferentes pontos de vista.

Os métodos multicritério mais comuns apresentam soluções com base na comparação entre as diversas alternativas em estudo, com base numa hierarquização das mesmas entre si. Porém a aplicação de uma hierarquização nem sempre é a mais adequada em problemas que visam a análise de uma rede visto que a comparação entre alternativas pode provocar uma errada ou incompleta perceção da realidade. Não obstante, a modificação, exclusão ou introdução de novas alternativas pode ainda modificar a classificação final.

Por outro lado, encontram-se disponíveis métodos multicritério que atribuem um conjunto de alternativas ou objetos em análise (como arcos da rede viária individualizados com características associadas) a categorias pré-definidas por normas correspondentes a vetores de pontuações em critérios específicos. Estas categorias podem definir limiares de classes ou

servirem apenas como referência. Neste tipo de métodos as alternativas ou objetos em análise são independentes entre si na classificação final, e a sua classificação apenas está dependente dos seus atributos e dos atributos pré-definidos para os limiares das categorias. Estes métodos são denominados de *Multicriteria Sorting Problem* (MCSP) e é um desses métodos, o ELECTRE Tri, que foi utilizado no problema apresentado nesta dissertação.

2.3.2 ELECTRE Tri

O ELECTRE Tri é um método multicritério não-compensatório escolhido pela sua proximidade metodológica ao julgamento humano. Em comparação a outros métodos tradicionais, o ELECTRE Tri diferencia-se por não depender de valores obtidos a partir de somas ponderadas – um atributo com baixo desempenho não é compensado por um atributo com alto desempenho numa dada alternativa. Deste modo são eliminados os efeitos compensatórios que podem dissimular a classificação. Em seguida é apresentada uma breve introdução ao ELECTRE Tri com base na literatura, em especial em Mousseau *et al.* (2000), no qual é possível encontrar uma descrição mais aprofundada do método.

Nesta dissertação o método foi aplicado a um problema de decisão em engenharia. É uma aplicação consagrada na literatura como por exemplo em Natividade-Jesus *et al.* (2013) e Sousa *et al.* (2017); este último segue uma metodologia semelhante à aqui apresentada, mas para a avaliação da qualidade da infraestrutura pedonal.

A atribuição de uma alternativa a resulta da comparação de a com os perfis que definem os limites das categorias. Seja F o conjunto dos critérios que definem as alternativas, $F = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$ e B o conjunto de perfis que definem $p + 1$ categorias (classes), $B = \{b_0, b_1, \dots, b_{p+1}\}$, com b_h sendo o limite superior da categoria C_h e o limite inferior da categoria C_{h+1} , $h = 1, 2, \dots, p$ (ver Figura 2.1, na qual os perfis b_{p+1} e b_0 correspondem às alternativas ideal e anti-ideal, isto é solução de referência, em geral meramente hipotética, com respetivamente os melhores e piores valores possíveis para todos os critérios em simultâneo) (Mousseau *et al.*, 2000).

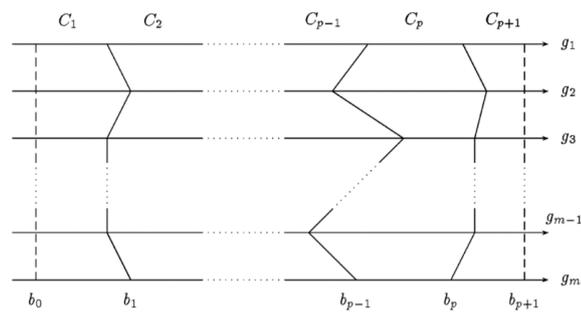


Figura 2.1 - Definição de categorias a partir de perfis limite

O ELECTRE Tri atribui as alternativas às categorias a partir de dois passos consecutivos: a construção de uma relação de subordinação S , que caracteriza como as alternativas são comparadas aos limites das categorias, e na exploração dessa mesma relação S com o fim de atribuir cada alternativa a uma categoria específica.

A capacidade de aproximação metodológica ao julgamento humano deve-se a parâmetros intrínsecos ao método, como os limiares de indiferença, preferência e veto. O limiar de indiferença define a diferença máxima entre valores de um critério para duas alternativas para o qual o decisor não sente que haja distinção entre elas. Quanto ao limiar de preferência, este define a diferença mínima a partir da qual, para o decisor, se torna clara a preferência por um dos valores do critério sob escrutínio. Por fim, o limiar de veto define a diferença máxima entre valores de um critério a partir do qual não é credível que uma alternativa possa ser considerada preferível a outra, independentemente dos valores assumidos pelos restantes critérios.

De forma exemplificativa apresenta-se a seguinte situação: pretende-se adquirir um automóvel. São apresentados quatro automóveis com diferentes atributos. Em termos de preço as alternativas são: o automóvel A custa 15 000€, o B 15 200€, o C 16 500€ e o D 100 000€. Para o comprador, os automóveis A e B, são semelhantes em termos de preço e por isso a escolha entre os dois acaba por se tornar indiferente, ou seja, não se pode dizer que qualquer deles é preferível ao outro. Contudo, o C apresenta uma diferença de preço mais elevada levando a uma preferência pelos dois primeiros (A ou B). Por fim o D, mesmo que seja melhor que todos os outros nos restantes atributos, nunca pode ser considerado globalmente melhor do que qualquer um deles, dada a grande diferença de preço existente (que veta a sua preferência sobre os outros).

Com este exemplo é possível observar o significado dos limiares de indiferença, preferência e veto presentes no método e exemplificados em situação real de julgamento humano.

No capítulo seguinte, mais concretamente no subcapítulo 3.4 - Análise de dados com recurso ao ELECTRE Tri, são apresentados os valores adotados para os diversos limiares (de indiferença, preferência e veto), o conjunto de pesos atribuídos a cada critério, assim como os perfis de referência que definem as categorias (classes).

3 ESTUDO DE CASO

3.1 Critérios e Características Analisadas

Na análise efetuada foram usados cinco critérios, alguns deles compostos, baseados em nove características presentes nos arcos de acordo com uma metodologia definida, tendo em vista a avaliação da adequabilidade do tráfego ciclável:

- 1 – Conforto: tipo e estado de conservação do pavimento;
- 2 – Segurança: volume de tráfego motorizado, volume de tráfego pesado e separação;
- 3 – Envolvente;
- 4 – Largura;
- 5 – Interseções: medidas existentes e medidas necessárias.

O conforto, segurança, largura e interseções são critérios de benefício, ou seja, são preferidos valores o maior possível de acordo com as escalas adotadas. Por outro lado, a envolvente é um critério de custo, ou seja, são preferidos valores o mais baixo possíveis. Distinguem-se também critérios compostos – compostos de duas ou mais características – e critérios simples – constituídos por apenas uma característica. Em seguida são descritos os critérios, assim como as características que os constituem.

Previamente à descrição dos critérios é importante definir a terminologia a utilizar neste trabalho, nomeadamente o que se entende por via comum, ciclovia e ciclofaixa (definições com base no que foi lecionado na unidade curricular de Engenharia de Tráfego (DEC-UC)):

- Via comum: entende-se por via comum os arcos nos quais não existem vias dedicadas para bicicleta, ou seja, o ciclista é forçado a partilhar a via com o tráfego motorizado;
- Ciclovia: Via exclusiva para a utilização da bicicleta, fazendo parte integrante da faixa de rodagem, não existindo separação física desta;
- Ciclofaixa: Pista ciclável segregada do tráfego motorizado uni ou bidirecional. Usualmente com zona tampão para com o tráfego motorizado.

Conforto:

Mede o conforto do ciclista em cada arco de acordo com o tipo e o estado de conservação do pavimento. Adota-se uma escala *Likert* para o critério composta por cinco níveis (0, 1, 2, 3 e 4). O valor 0 corresponde a uma situação inadequada enquanto que o valor 4 corresponde à situação ideal de circulação. A classificação é obtida a partir da expressão:

$$\text{Conforto} = \max \{ \text{tipo de pavimento} - \text{condições do pavimento}; 0 \} \quad (1)$$

O tipo de pavimento é classificado a partir de uma escala composta por cinco níveis (0, 1, 2, 3 e 4) na qual o valor 0 corresponde a um tipo de pavimento inadequado, ao passo que o valor 4 corresponde a um pavimento apropriado para o uso de bicicleta.

O estado de conservação do pavimento é classificado também por meio de uma escala composta por cinco níveis (0, 1, 2, 3 e 4), em que o valor 0 é atribuído a um pavimento em muito bom estado de e o valor 4 atribuído a um pavimento em muito mau estado. O estado de conservação reflete a situação atual do pavimento com base em patologias como covas, peladas, rodeiras, pele de crocodilo, coletores pluviais, raízes de árvores e facilidade de acumulação de detritos, tendo em conta a sua frequência e extensão.

Deste modo é possível ter em conta que diferentes tipos de pavimento e diferentes estados de conservação influenciam as condições de circulação dos ciclistas.

Segurança:

Mede a segurança providenciada pela infraestrutura ao ciclista, de acordo com o volume de tráfego motorizado, volume de tráfego motorizado pesado e a separação entre o tráfego motorizado e o ciclista. A escala *Likert* adotada para o critério é composta por cinco níveis (0, 1, 2, 3 e 4). O valor 0 corresponde a um nível muito baixo de segurança e o valor 4 corresponde ao nível ideal de segurança. A classificação final é obtida após equacionar as três características e é dada pela expressão:

$$\text{segurança} = 4 - (\text{Min}\{4, VT + VP\} - SP) \times \theta(\text{Min}\{4, VT + VP\} - SP) \quad (2)$$

em que θ corresponde a uma função de grau unitário (isto é, pode assumir o valor de 0 ou 1 de modo a impossibilitar um valor final do critério negativo), VT ao volume de tráfego motorizado, VP ao volume de tráfego pesado motorizado e SP à separação acima referida. Para efeitos de escala, o valor máximo obtido do somatório dos volumes de tráfego é 4.

Para o volume de tráfego motorizado adotou-se uma escala qualitativa composta por cinco níveis (0, 1, 2, 3 e 4), na qual o valor 0 corresponde a volume muito baixo de tráfego enquanto que o valor 4 corresponde a elevado volume de tráfego. Caberá ao observador ajustar o volume

de tráfego tendo em conta a contabilização por veículo-equivalentes e a sua familiarização com a situação diária do arco e a hierarquização viária de redes urbanas.

No caso do volume de tráfego motorizado pesado, pretende-se penalizar a existência de veículos pesados, visto que os mesmos não só ocupam um maior espaço na via, como ao passar paralelamente aos ciclistas provocam tuneis de ar que colocam em causa a segurança dos ciclistas. Tratando-se de uma análise em ambientes urbanos, existe uma maior presença de veículos pesados de transporte coletivo urbano e suburbano, em relação a veículos pesados de mercadorias. Deverá ser da competência do observador avaliar cada arco tendo em conta a regularidade e número de veículos pesados que circulam. Adotou-se uma escala qualitativa composta por três níveis (0, 0.5 e 1), na qual o valor 0 corresponde a um volume muito reduzido ou inexistente de veículos pesados, enquanto que 1 corresponde a um elevado volume de veículos pesados.

No caso da separação do tráfego motorizado pretende-se classificar a zona de tampão que separa o ciclista do tráfego motorizado. Para tal recorre-se a uma escala composta por cinco níveis (0, 1, 2, 3 e 4), na qual o valor 0 corresponde à inexistência de separação e o valor 4 a uma separação rígida, como estacionamento ou árvores de grande porte, que previnam o embate dos veículos motorizados com o ciclista. Os valores intermédios têm em consideração separações flexíveis, como é o caso de cones de sinalização ou lancis, mas também situações na qual não existe separação rígida, mas espacial com um espaço tampão (usualmente relvado) entre os veículos motorizados e os ciclistas de mais ou menos dois metros. A distância de dois metros encontra-se presente e justificada em diversos manuais da área como o *London Cycling Design Manual* (2014). Uma ciclofaixa pressupõe já a existência de separação que também é tida em consideração.

É importante que o observador tenha em consideração medidas que para além de servirem como medidas de acalmia de tráfego também transmitem uma maior segurança ao ciclista.

Envolvente:

A envolvente é um critério simples que caracteriza os conflitos que afetam a circulação dos ciclistas. Para esta análise considera-se o estacionamento e/ou a saída e entradas de logradouros como os conflitos que exigem uma maior atenção por parte dos ciclistas. Cabe ao observador analisar a sua frequência e influência na circulação.

Em termos do estacionamento, é dada uma maior relevância a estacionamentos em espinha ou perpendiculares à via de circulação, nos quais a visibilidade do condutor para o ciclista é mais reduzida.

No caso dos logradouros os perigos são diferentes na saída ou entrada de veículos. Na saída os condutores ou o ciclistas podem não ter uma adequada visão uns para os outros, enquanto na

entrada, de forma a desimpedir a via de circulação mais rapidamente, os condutores podem não se aperceber da existência de um ciclista nas proximidades.

A escala *Likert* adotada para o critério é composta por quatro níveis (0, 1, 2 e 3). O valor 0 corresponde à inexistência de conflito, enquanto que o valor de 3 a um elevado conflito.

Largura:

Baseia-se no perfil transversal dos arcos, que é avaliado de acordo com a infraestrutura ciclável existente: via comum, ciclovia/ciclofaixa *1-way* ou ciclofaixa *2-ways*. A escala adotada para o critério assume valores entre 0 a 1, contudo nem todos os arcos atingem o valor 1 pelas razões abaixo indicadas.

Todos os valores em seguida apresentados, foram retirados do *National Cycle Manual* (2011) e o seu modo de cálculo apresenta-se na Figura 3.4.

Via comum: Adotou-se uma escala contínua de 0 a 0.6, em que 0 corresponde a uma situação desadequada e de modo a penalizar a necessidade da partilha de via; o valor máximo é de 0.6 e correspondente a uma situação razoável de circulação. Não obstante, por vezes, uma exagerada largura de via incentiva os condutores a criar uma zona de estacionamento ou a criar múltiplas vias de circulação, acabando por retirar espaço ao ciclista.

Na Figura 3.1 é possível observar o gráfico da escala. Para o cálculo de valores recorre-se a interpolações.

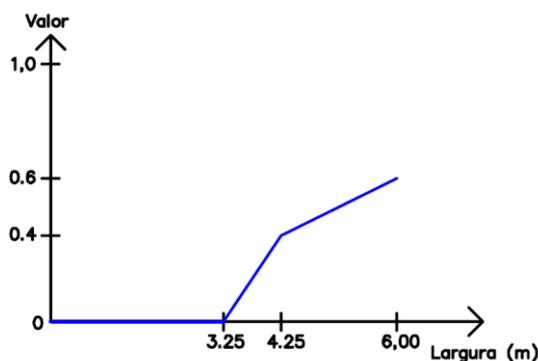


Figura 3.1 - Evolução dos valores em função da largura – Via comum

Ciclovia ou ciclofaixa *1-way*: entende-se por *1-way* os arcos que têm os dois sentidos de circulação separados ou se só existe um sentido de circulação para bicicletas. Como mais à frente será apresentado, os arcos são orientados.

Adotou-se uma escala de 0 a 1 contínua na qual valores entre 0 e 0.4 correspondem a uma situação inadequada, tendo em conta que a largura mínima para uma circulação segura é de 1.25 metros; o valor 1 corresponde a uma situação ideal de circulação.

Na Figura 3.2 é possível observar o gráfico da escala. Para o cálculo de valores recorre-se a interpolações.

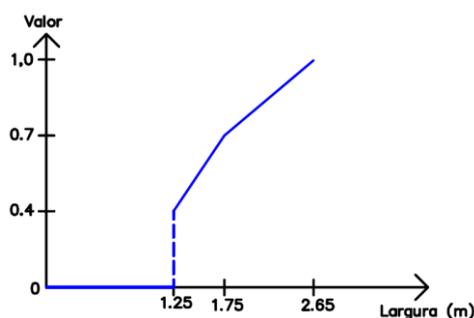


Figura 3.2 - Evolução dos valores em função da largura – Ciclovias ou ciclofaixas 1-way

Ciclofaixa 2-ways: entende-se por 2-ways os arcos que têm uma ciclofaixa com dois sentidos de circulação.

Adotou-se uma escala de 0 a 1 contínua na qual valores entre 0 e 0.4 correspondem a uma situação inadequada, tendo em conta que a largura mínima para uma circulação segura em sentidos opostos de dois ciclistas é de 2 metros; entre os valores de 0.7 e 1 já é possível realizar ultrapassagens sem interferir com os ciclistas em sentido oposto. O valor 1 corresponde a uma situação ideal.

Na Figura 3.3 é possível observar o gráfico da escala. Para o cálculo de valores recorre-se a interpolações.

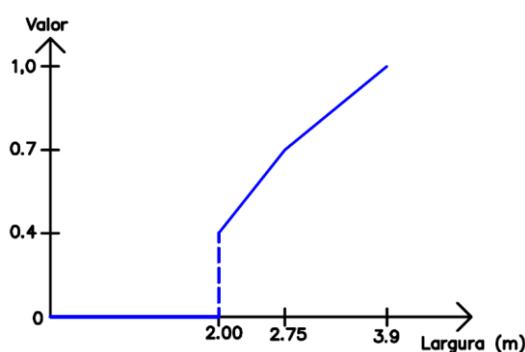


Figura 3.3 - Evolução dos valores em função da largura – ciclofaixas 2-way

Devido à circulação do ciclista ser em via dedicada e segregada por meio de uma zona tampão, os arcos obtêm uma classificação mínima de 0.4 representativa dessa segurança desde logo imposta pelo desenho.

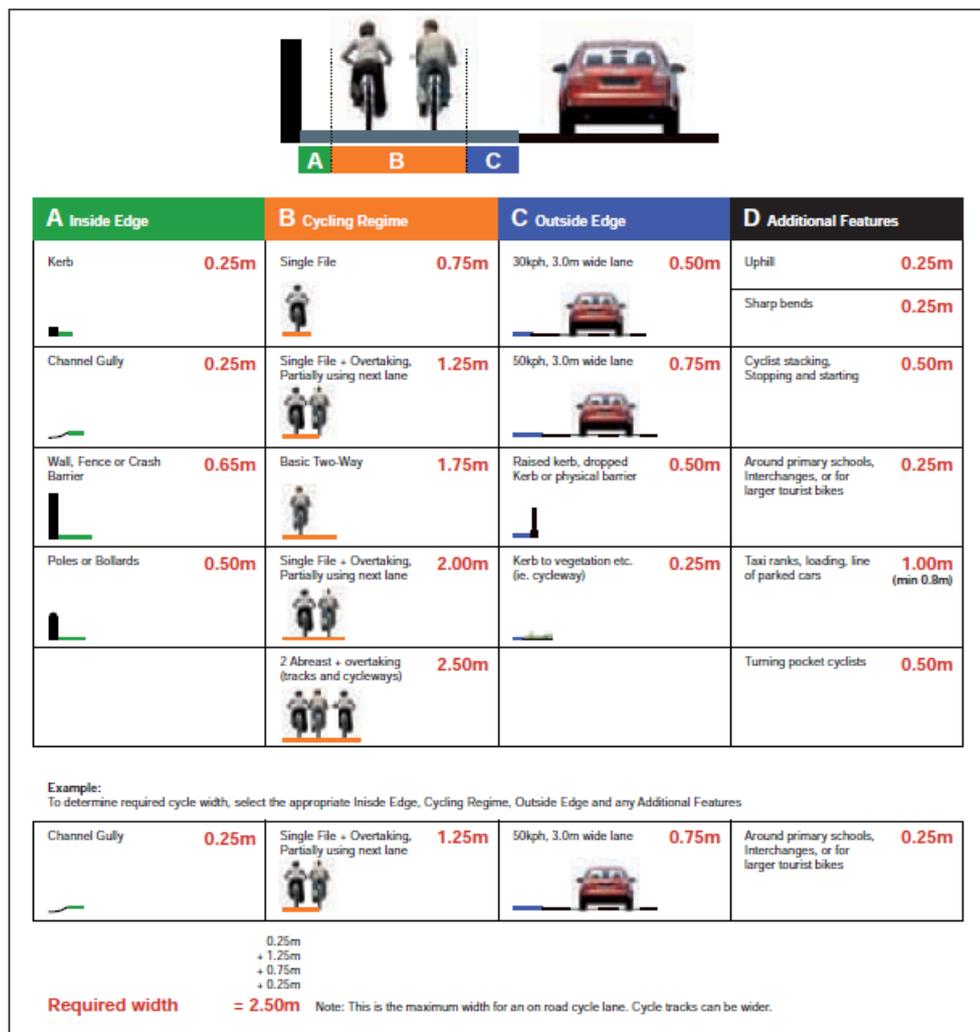


Figura 3.4 - Cálculo da largura de ciclovias e de ciclofaixas. Fonte: National Cycle Manual, 2011.

Interseções:

Define a ciclabilidade das interseções existentes entre os diversos arcos. A cada arco é atribuída a interseção que se encontra no seu extremo final (os arcos são orientados). Cada interseção é analisada com base em dois subcritérios: medidas que, em abstrato, a interseção necessitaria para permitir uma adequada circulação dos ciclistas e medidas já existentes no local que permitem, ou ajudam, a uma adequada circulação dos ciclistas.

Às medidas necessárias é atribuída uma escala de três níveis (1, 2 e 4) em que o valor 1 corresponde à necessidade de sinalização e marcações no pavimento, 2 corresponde à necessidade de semáforos e marcações no pavimento, e 4 corresponde à necessidade de passagem desnivelada (superior ou inferior).

Às medidas existentes é atribuída uma escala de quatro níveis (0, 1, 2 e 4) em que o valor 0 corresponde à inexistência de qualquer tipo de sinalização ou marcação, 1 corresponde à existência de sinalização e marcação no pavimento, 2 à existência de semáforos e marcações no pavimento, e 4 à existência de passagem desnivelada na interseção (superior ou inferior).

Em ambas as medidas é dada a classificação de 4 às passagens desniveladas visto que tratando-se de obras de arte, acarretam um maior custo e também de modo a evidenciar casos particulares em que o atravessamento só pode ser realizado de forma desnivelada, mesmo existindo todas as outras medidas no cruzamento.

A escala *Likert* adotada para o critério “interseção” é composta por cinco níveis (0, 1, 2, 3 e 4). O valor 0 indica a impossibilidade de circulação do ciclista na interseção, sendo o seu atravessamento só pode ser realizado desmontando da bicicleta; o valor 4 à não existência de conflito, e por isso, o cruzamento encontra-se perfeitamente adaptado à circulação de ciclistas. A classificação final é obtida após análise dos dois atributos que o constituem e é dada pela expressão (na qual a subtração das medidas é truncada a 0):

$$\text{Interseção} = 4 - \max \{(\text{medidas necessárias} - \text{medidas existentes}); 0\} \quad (3)$$

Quadro resumo

Em seguida apresenta-se no Quadro 3.1 o resumo de todos os critérios e características considerados:

Quadro 3.1 - Quadro resumo dos critérios e características consideradas

Critério	Tipo	Características	Tipo	Escala
Conforto	Benefício	Tipo de pavimento	Benefício	Discreta: 0–4 (inadequado, mau, razoável, bom, muito bom)
		Estado de conservação do pavimento	Custo	Discreta: 0–4 (muito bom, bom, razoável, mau, inadequado)
Segurança	Benefício	Volume de tráfego motorizado	Custo	Discreta: 0–4 (muito baixo, baixo, moderado, considerável, elevado)
		Volume de tráfego motorizado pesado	Custo	Discreta: 0, 0.5 e 1 (inexistente, baixo, moderado)
		Separação	Benefício	Discreta: 0–4 (sem segregação, ciclovia, ciclofaixa com separação física mínima (cones), ciclofaixa sem elementos rígidos na zona tampão, ciclofaixa com elementos rígidos)
		Estacionamento e logradouros (Um de:)		Discreta: 0–3 (inexistente, baixo, moderado, elevado)
Largura	Benefício	Via Comum	Benefício	Contínua: 0–0.6 (inadequado a razoável)
		Ciclovia ou ciclofaixa 1-way	Benefício	Contínua: 0.4–1 (razoável a muito bom)
		Ciclofaixa 2-ways	Benefício	Contínua: 0.4–1 (razoável a muito bom)
Interseções	Benefício	Medidas necessárias	Custo	Discreta: 1, 2 e 4 (sinalização e marcação, semaforização, passagem desnivelada)
		Medidas existentes	Benefício	Discreta: 0, 1, 2 e 4 (sem sinalização, sinalização e marcações, semaforização, passagem desnivelada)

3.2 Levantamento dos Dados

A recolha dos dados para a avaliação da ciclabilidade da rede foi feita *in situ*, com base no preenchimento de folhas de levantamento, como é possível observar na página seguinte. Na análise à rede, os arruamentos são transformados em arcos. Um arco é homogéneo nas suas características; arcos heterogéneos são divididos em segmentos homogéneos, sendo estes subsequentemente tratados em conformidade, isto é individualizados como arcos independentes.

A rede é orientada, ou seja, cada arco tem sempre definido um sentido de circulação, o que implica que um arruamento de dois sentidos dê origem a pelo menos dois arcos. Após a divisão em dois arcos, estes são avaliados na sua extensão relativamente à homogeneidade e subdivididos caso se justifique.

Excetuando-se o “volume de tráfego”, todas as características puderam ser recolhidas a qualquer hora do dia e da semana. No caso do atributo “volume de tráfego”, os dados foram recolhidos em horário de ponta, ou seja, entre as 17 e as 19 horas, às terças e quintas-feiras.

Na Figura 3.5 apresenta-se a folha de levantamento de dados idealizada e utilizada para o estudo de caso.

Folha de Levantamento de Dados – Avaliação da Ciclabilidade da Rede

Troço nº: _____ Comprimento do troço (metros): _____ Data: _____ Hora: _____

Rua: _____ Sentido: _____

Conforto ↑

Tipo de Pavimento ↑ (0-empedrado ou solto, 1-terra batida, 2-calçada portuguesa, 3-lajes, 4-betuminoso): _____

Condições do Pavimento ↓ (0-muito bom, 1-bom, 2-aceitável, 3-mau, 4-muito mau): _____

Patologias a ter em atenção: covas, peladas, rodeiras, acumulação de detritos, pele de crocodilo, coletores pluviais, raízes de árvores, outros relevantes.

Segurança ↑

Volume de Tráfego ↓ (0-muito baixo, 1-baixo, 2-moderado, 3-ligeiramente elevado, 4-elevado): _____

Volume de Tráfego Pesado ↓ (0-inexistente, 0.5-baixo, 1-moderado): _____

Tem em consideração apenas o transporte público da cidade, de acordo com o número de linhas por troço

Separação ↑ (0-sem segregação, 1-ciclovía, 2-ciclofaixa c/ separação mínima, 3-ciclofaixa com zona tampão s/ elementos rígidos, 4-ciclofaixa com zona tampão c/ elementos rígido): _____

Envolvente ↓

Estacionamento/Logradouros ↓ (0-não existe conflito, 1-baixo, 2-moderado, 3-elevado conflito): _____

Largura ↑

Tipo: Via comum Ciclovía/ciclofaixa – 1-way Ciclofaixa 2-ways

Se via comum: largura da via mais à direita + berma (caso exista)

Largura (metros): _____

Se ciclovía/ciclofaixa 1-way ou ciclofaixa 2-ways: largura total

Interseções ↑

De modo a assegurar uma adequada integração do ciclista

Medidas necessárias:

- Sinalização e marcações no pavimento
- Semáforos e marcações no pavimento
- Passagem desnivelada (superior ou inferior)

Medidas existentes:

- Não existe qualquer sinalização ou marcação na interceção
- Existe sinalização e marcações no pavimento
- Existe semáforos e marcações no pavimento
- Existe passagem desnivelada (superior ou inferior)

FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Figura 3.5 - Folha de levantamento de dados *in situ*

No total foram levantados 189 arcos dispersos por três zonas da cidade de Coimbra: 63 arcos na Baixa, 39 no Bairro Norton de Matos e 87 na zona da Solum. Na Figura 3.6 é possível observar a delimitação das zonas em análise e os arcos da rede viária em análise no estudo de caso.



Figura 3.6 - Zonas em estudo da cidade de Coimbra, Portugal

A zona da Baixa (que cobre parte da Baixa de Coimbra) é das zonas mais antigas da cidade de Coimbra. Extremamente consolidada e com uma grande relevância histórica, o espaço disponível para circulação é reduzido e nalgumas partes utilizado de forma incorreta, possibilitando rotas de atravessamento ou até mesmo de *rat running* – circulação desrespeitando por inteiro a hierarquização viária utilizando atalhos de modo a reduzir o tempo de viagem. Caracteriza-se como uma zona mista com a presença de diversos equipamentos coletivos, espaços comerciais, pontos de interesse turísticos e espaços residenciais.

O Bairro Norton de Matos, é um bairro histórico da cidade de Coimbra localizado na zona Sul e é uma área quase exclusivamente residencial encontrando-se também consolidado. Contudo, devido à sua localização relativamente a outras zonas da cidade, como a zona da Solum ou do Vale das Flores tem tendência a ser utilizado como rota de atravessamento. Os arruamentos são homogéneos e seguem uma estrutura ortogonal.

Por fim, a zona da Solum é uma zona mista com espaços residenciais, comerciais, bem como diversas escolas, institutos e equipamentos desportivos. É um polo de atração da cidade de Coimbra o que leva a um elevado volume de tráfego ligeiro e pesado. Os arruamentos são longos e muito heterogéneos, com diversos perfis transversais, envolvente, e nalguns casos diferentes tipos de pavimento e níveis de interseções.

3.3 Visão Geral das Características Recolhidas e Critérios

Neste subcapítulo analisa-se com um maior detalhe, com o apoio de mapas, os critérios considerados, assim como algumas das características sempre que sejam relevantes para a compreender os valores dos critérios expressos.

De modo a produzir representações geográficas das soluções obtidas recorreu-se a um Sistema de Informação Geográfico, (SIG). Um SIG é um *software* que permite realizar um conjunto de operações com base em informações geográficas. Os *softwares* SIG permitem realizar inúmeras operações e são vastamente utilizados (Goodchild, 2009).

Em especial, neste trabalho foi utilizado o *software ESRI ArcGIS*. A partir de um mapa digital da cidade foram identificadas as unidades geográficas em estudo – arcos. Foram passadas informações relativamente às características (dados recolhidos), critérios e as classificações finais obtidas a partir da aplicação do ELECTRE Tri. Explorando as funcionalidades do *ArcGIS* foram criadas imagens nas quais os arcos são coloridos de acordo com as escalas já definidas sobre uma fotografia aérea.

Conforto:

A maioria dos arcos foram considerados como nível 4 para o tipo de pavimento, sendo que apenas 5% dos arcos obtiveram um nível inferior. A maioria desses arcos localiza-se na zona da Baixa, uma das zonas mais antigas da cidade, que devido ao seu peso histórico mantém a tradição de pavimentos em empedrado e calçada portuguesa. Apesar disso, tanto na zona da Baixa como nas restantes zonas o tipo de pavimento existente, pavimentos de base betuminosa, é ideal para a circulação dos ciclistas com o máximo de conforto possível.

Relativamente ao estado de conservação do pavimento, observando a Figura 3.7, é visível a existência de muitos arcos no qual a conservação está aquém do desejado, dispersos pelas três zonas em análise. Em geral observa-se a existência de diversas patologias, em especial de rodeiras, mais notáveis nos percursos dos transportes urbanos da cidade, mas também uma frequente acumulação de detritos e raízes de árvores que, apesar de melhoramentos nos últimos anos em muitas zonas, ainda é fonte de problemas.

No geral também se observou que as vias coletoras e distribuidoras principais encontram-se em bom estado de conservação do pavimento de modo a fazer face a um maior volume de tráfego.

Devido a exaustivas reabilitações e melhoramento de infraestruturas nos últimos anos, a zona da Baixa apresenta o melhor panorama das três zonas.

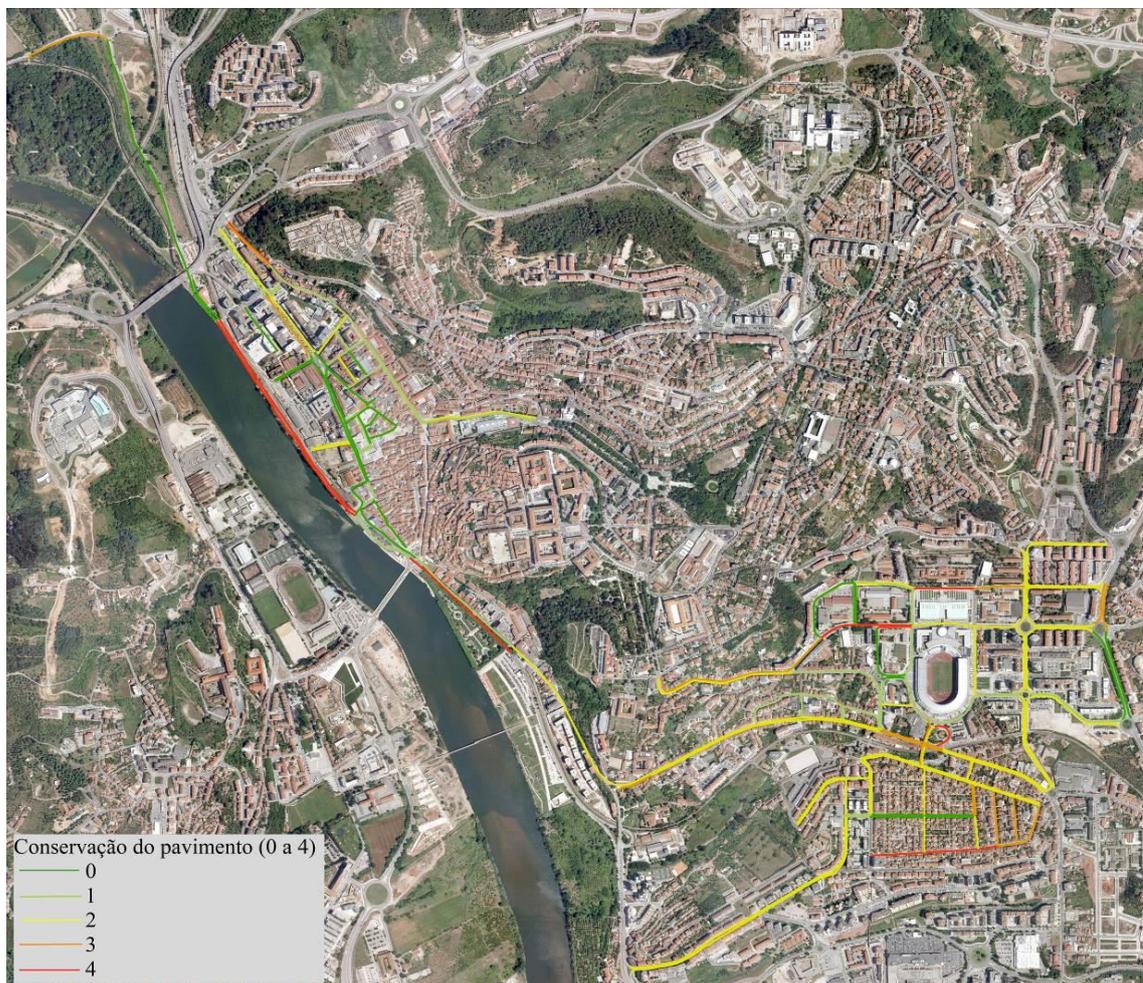


Figura 3.7 - Conservação do pavimento (0 – muito bom; 4 – inadequado)

Como a maioria dos arcos apresentam um tipo de pavimento ideal para a circulação ciclista, é possível retirar o peso do estado de conservação do pavimento para um adequado conforto do ciclista, como é possível observar na Figura 3.8.

Grande parte dos arcos providencia razoáveis condições de conforto aos ciclistas apesar de existirem ainda alguns com classificação inferior.

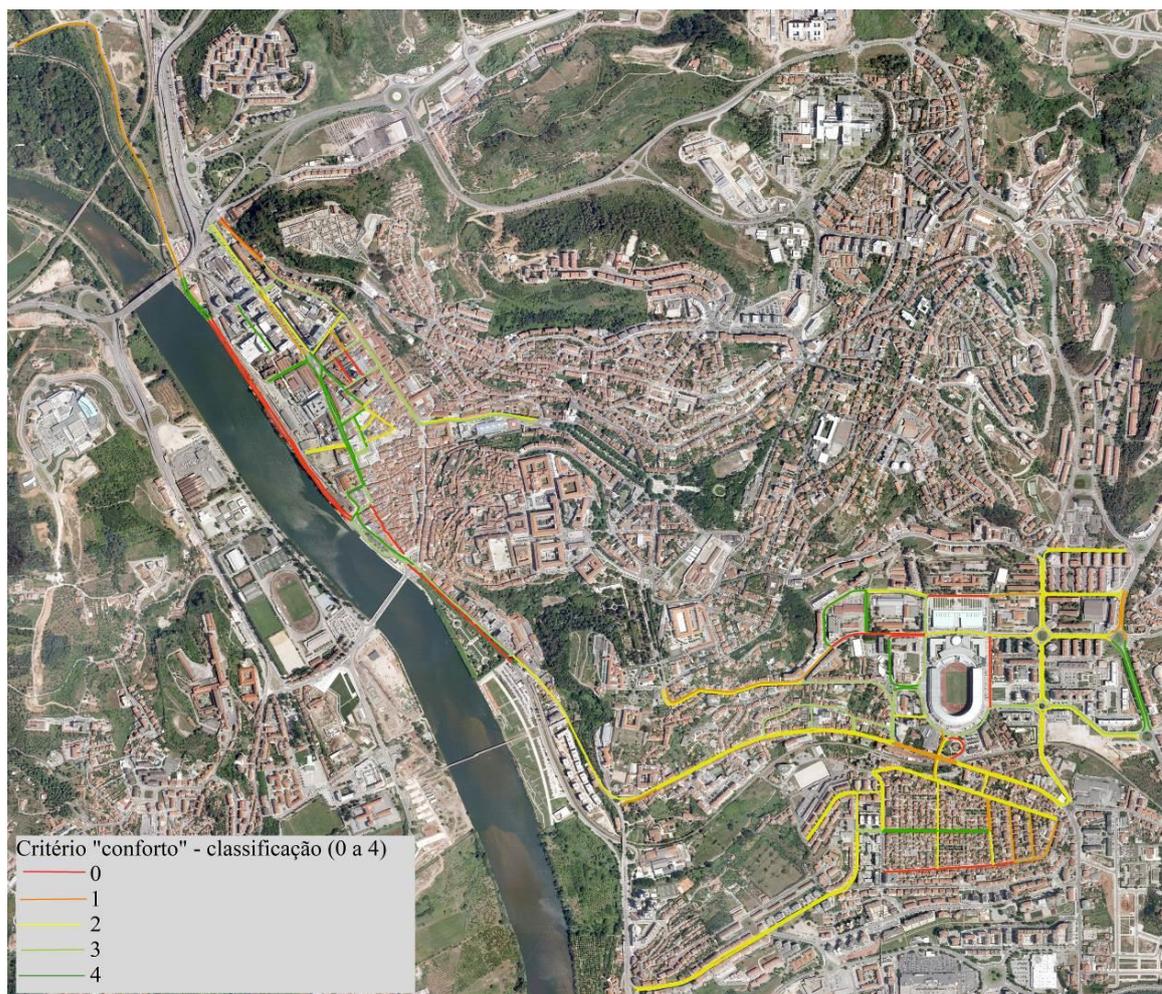


Figura 3.8 - Critério conforto (0 – inadequado; 4 – ideal)

Segurança:

A partir da Figura 3.9 é possível observar o volume de tráfego motorizado nos arcos em análise. Como seria expectável grande parte dos arcos nos quais existe um elevado volume de tráfego representam ligações entre diferentes zonas da cidade de Coimbra, ou até mesmo entradas na cidade, ou seja, vias coletoras e distribuidoras principais.

Tratando-se de zonas mistas – zonas que apresentam diferentes tipos de utilização como ocupação residencial, comercial e industrial – as zonas da Baixa e da Solum apresentam um maior volume de tráfego. Na realidade, devido às suas dimensões e heterogeneidade, ambas as zonas também apresentam um elevado volume de tráfego em arcos que desempenham um papel de distribuidores locais. Em oposição, o Bairro Norton de Matos representa uma zona apenas para fins residenciais, já apresenta menores volumes de tráfego apesar da sua utilização incorreta, por parte de alguns habitantes, como rota de atravessamento entre diferentes zonas da cidade. No geral o volume de tráfego motorizado não se adequa à circulação ciclista.



Figura 3.9 - Volume de tráfego motorizado (0 – muito baixo; 4 – elevado)

A distribuição do volume de tráfego motorizado pesado apresenta semelhanças com o volume de tráfego motorizado em geral, com maior volume nos arcos que desempenham um papel de vias coletoras ou distribuidoras principais. A segurança de um ciclista num desses arcos apresenta ainda um maior risco.

Em termos da separação apenas 5 dos 189 arcos em análise têm algum tipo de separação entre o tráfego motorizado e o ciclista. Significa por isso que praticamente em todos os arcos o ciclista necessita de partilhar a via com o tráfego motorizado, o que desde logo diminui a sua segurança.

Existindo apenas 5 arcos com algum tipo de separação, significa também que não é possível circular entre as diversas zonas sem haver a necessidade de partilha de via. Na realidade, esses 5 arcos estão todos localizados na zona da Baixa o que revela que tanto na zona da Solum como no Bairro Norton de Matos o ciclista tem sempre de partilhar a via com o tráfego motorizado. Apesar dos 5 arcos estarem interligados entre si não permitem a ligação a nenhuma zona habitacional, comercial ou com algum tipo de intermodalidade. A sua única finalidade é ligar

uma zona hoteleira a um espaço verde da cidade, o significando que a sua utilização é maioritariamente para fins recreativos.

Após a análise das três características que constituem o critério “segurança”, na Figura 3.10 é possível observar os níveis de segurança dos diversos arcos. Como expectável, o nível de segurança obtido é maioritariamente mau ou medíocre.

De facto, a circulação em qualquer das zonas assim como na ligação entre elas não apresenta níveis de segurança mínimos para o ciclista. A circulação com uma segurança razoável ou boa por parte do ciclista fica reduzida a distâncias muito curtas (na maioria reduzidas a circular em apenas num arruamento) que não permitem a ligação nem a diferentes zonas da cidade nem a diferentes locais dentro da própria zona, impossibilitando inclusive a circulação de um espaço mais residencial para um espaço mais comercial dentro de uma zona classificada à priori como mista.

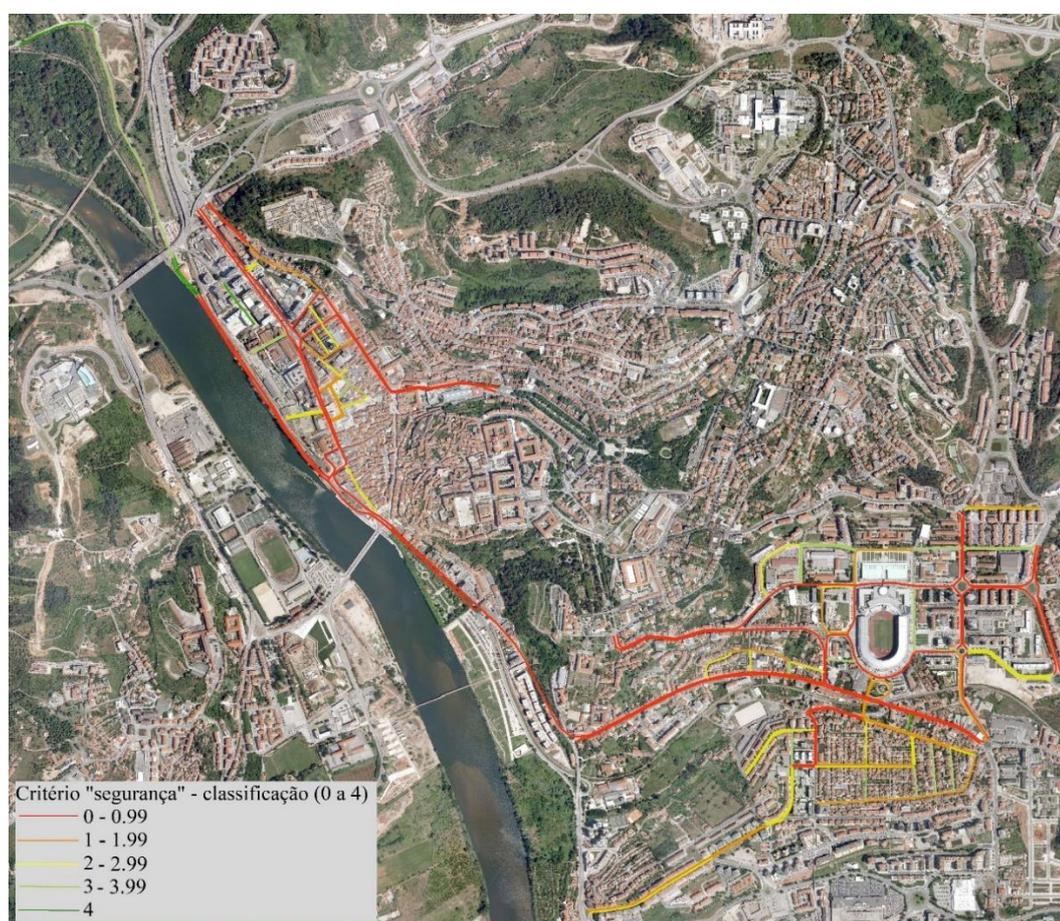


Figura 3.10 - Critério segurança (0 – muito baixa; 4 – ideal nível de segurança)

Envolvente:

Tratando-se de zonas mistas, como é possível observar na Figura 3.11, tanto a zona da Baixa como a zona da Solum apresentam uma grande dispersão nos valores da envolvente. Por outro lado, o Bairro Norton de Matos, uma zona residencial, apresenta graves problemas relativamente à envolvente com a presença de inúmeros logradouros a confluir para os arruamentos, assim como muitas zonas de estacionamento (maioritariamente em paralelo à circulação).

Em geral, são claros os problemas que a envolvente causa na circulação ciclista. Ao contrário do que já foi analisado em outras características e critérios, as vias coletoras e distribuidoras principais apresentam melhores condições de circulação em oposição às distribuidoras locais e acessos locais.



Figura 3.11 - Critério envolvente (0 – inexistente; 3 – elevado)

Largura:

Como já foi mencionado anteriormente, o critério largura tem em consideração a largura do espaço em que circula o ciclista, seja em conjunto com o tráfego (via comum) ou segregado (ciclovía ou ciclofaixa). O valor final é obtido a partir de interpolações com base em valores tabelados.

Como é possível observar na Figura 3.12, no geral os ciclistas não dispõem de muito espaço para ciclar. A grande parte dos arcos apresenta uma largura de via de 3.25 metros, ou até menos, tamanhos mínimos aceitáveis para a circulação do tráfego motorizado. Significa que não resta espaço suficiente para uma circulação segura de bicicleta. De modo a circularem os dois em simultâneo, um automóvel teria de transpor o eixo da estrada, o que não só é desaconselhável como em muitas zonas urbanas proibido. Não obstante, quando a situação ocorre em simultâneo num arruamento de dois sentidos torna-se completamente impensável, não só aumentando a insegurança dos ciclistas, mas também afetando o correto fluxo de tráfego motorizado.

Ademais, tratando-se de uma zona urbana, estamos na presença de um ambiente agressivo que causa ainda mais dificuldades na circulação da bicicleta.

Em especial, destaca-se o Bairro Norton de Matos, onde muitos dos arruamentos não estão dimensionados com o estacionamento paralelo incluído no perfil transversal; contudo, devido a ser uma zona muito densificada, na maioria dos arruamentos existe estacionamento paralelo, que devido à inexistência de sinalética, é permitido.

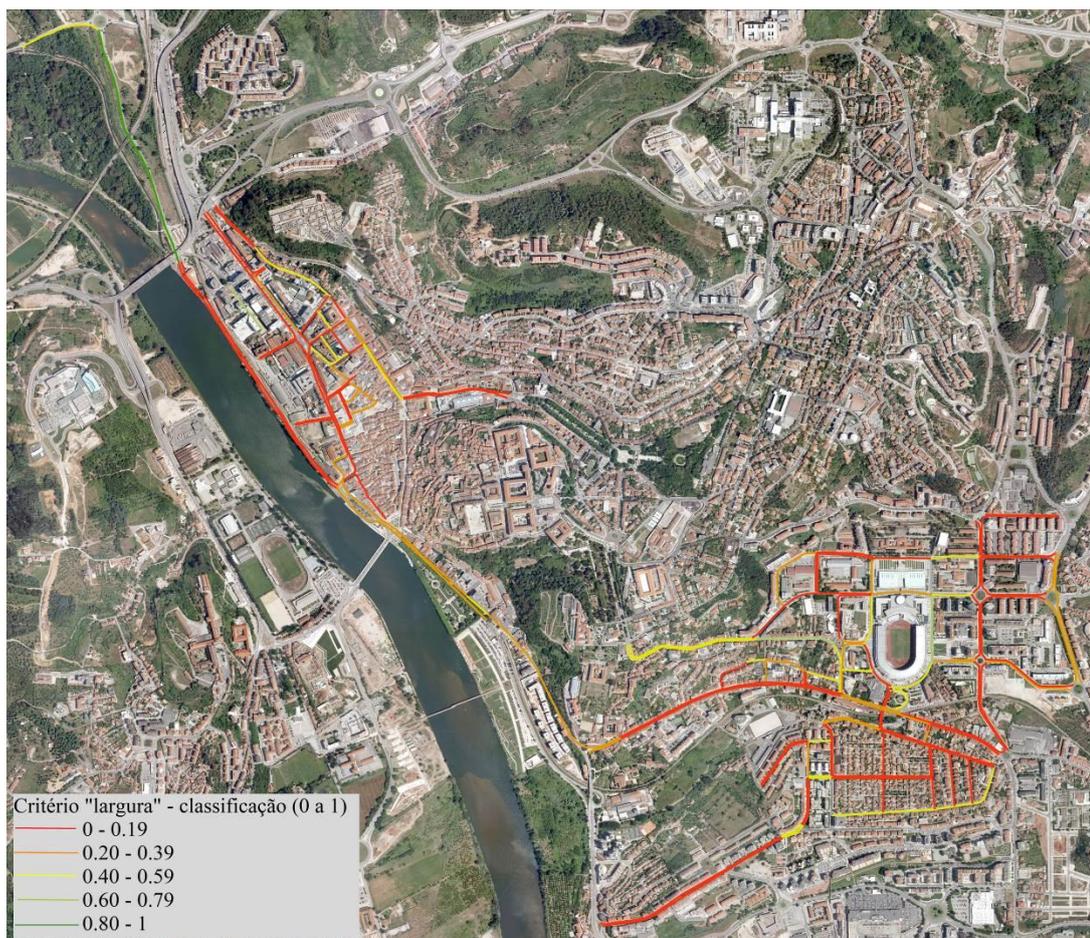


Figura 3.12 - Critério largura (0 – inadequado; 1 – muito bom)

Interseções:

Como se pode aferir na Figura 3.13, na generalidade, as interseções encontram-se adequadas ou a necessitar de pequenas alterações para um seguro atravessamento por parte dos ciclistas. Destaca-se a inexistência de arcos com valores maus, sendo que a maioria das interseções apresenta medidas adequadas ou que contribuem em grande parte para um atravessamento seguro e confortável por parte dos ciclistas.

É possível nas três zonas em análise, assim como nas suas ligações às restantes zonas, uma circulação mais despreocupada em termos de atravessamentos de interseções.

Pela positiva destaca-se o Bairro Norton de Matos, enquanto que a zona da Baixa devido à presença de interseções com um grande volume de tráfego e muito extensas apresentam piores valores para este critério (em específico a rotunda da Casa do Sal e a Praça do Arnado).

Contudo, é importante referir que apesar da possibilidade de obterem a mesma classificação, a necessidade de semáforos torna-se muito mais dispendiosa do que a necessidade de marcações e sinalização vertical.

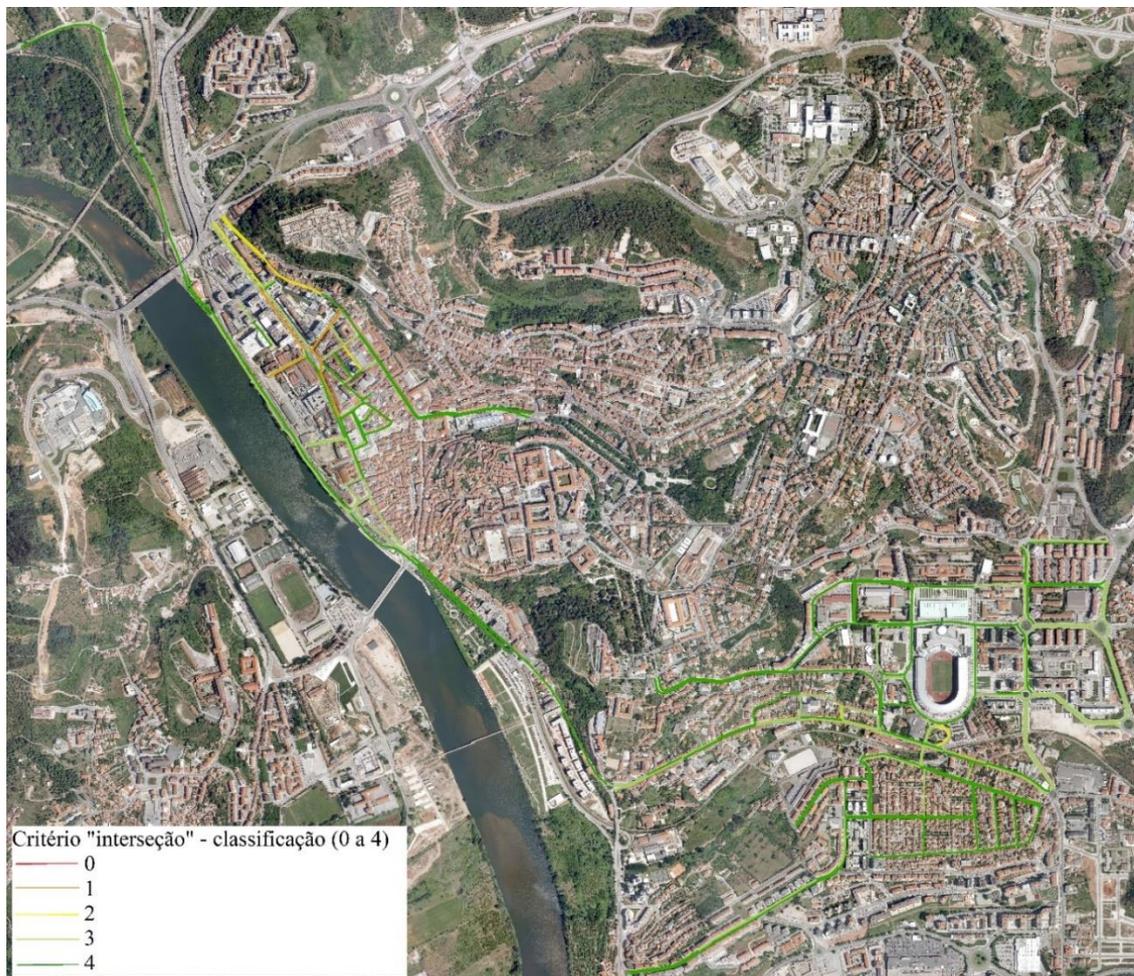


Figura 3.13 - Critério interseções (0 – impossibilidade de circulação sem desmonte; 4 – inexistência de conflito)

3.4 Análise dos Dados com Recurso ao ELECTRE Tri

Após a recolha e tratamento dos dados, estes foram reorganizados para entrarem como input do método ELECTRE Tri. Têm a forma apresentada no Quadro 3.2, que completo teria 189 linhas para as 10 colunas apresentadas.

Quadro 3.2 - Matriz de decisão

ID	Conforto			Segurança			Envol.		Largura		Interseções			
	Pav.	EC	Valor	Tráf. mot.	Tráf. pes.	Sep.	Valor	Valor	Tipo	(m)	Valor	Nec.	Ex.	Valor
A1	4	1	3	4	1	0	0	2	VC	4.00	0.24	2	2	4
A2	4	1	3	4	1	0	0	2	VC	3.50	0.08	2	2	4
A3	4	0	4	4	1	0	0	3	VC	3.50	0.08	2	1	3
⋮														
B1	4	4	0	2	0.5	0	1.5	2	VC	4.50	0.400	1	1	4
B2	4	3	1	2	0.5	0	1.5	2	VC	4.50	0.400	1	1	4
B3	4	3	1	1	0	0	3	3	VC	3.25	0	1	1	4
⋮														
C1	4	1	3	2	1	0	1	1	VC	3.50	0.08	2	2	4
C2	4	1	3	4	1	0	0	3	VC	4.00	0.24	1	1	4
C3	4	1	3	4	1	0	0	2	VC	3.35	0.03	1	1	4
⋮														

No método ELECTRE Tri é necessário *à priori* definir alternativas de referência, correspondentes aos perfis inferior e superior de cada classe pré-definida, o conjunto de pesos a considerar, assim como os limiares de indiferença, preferência e veto.

As alternativas de referência definem os limites das classes pré-definidas onde os arcos serão colocados pelo método. Foram definidas três alternativas de referência (T1, T2 e T3), o que corresponde à consideração de quatro classes distintas, para os quais os critérios tomam os valores em seguida apresentados:

	Conforto	Segurança	Envolvente	Largura	Interseções
T1 =	(1,	1,	2.5,	0.25,	1)
T2 =	(2,	2,	1.5,	0.5,	2)
T3 =	(3,	3,	0.5,	0.75,	3)

O ELECTRE Tri compara os arcos reais com estes três perfis, colocando cada um numa das quatro classes delimitadas pelos perfis. A Figura 3.14 representa graficamente as classes dos arcos e as suas delimitações a partir das alternativas de referência A1, A2 e A3.

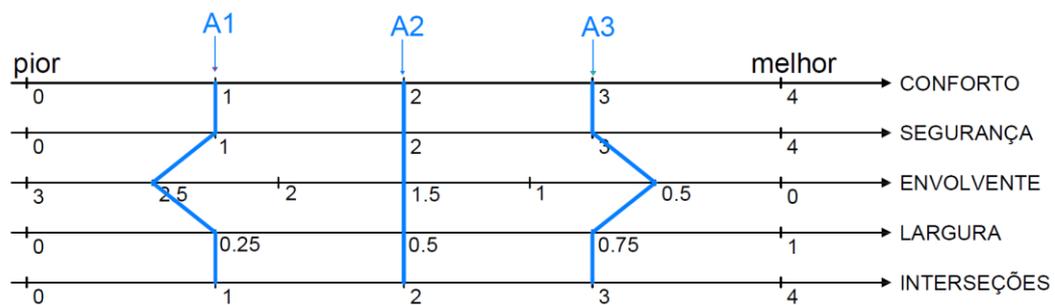


Figura 3.14 - Classe dos arcos delimitadas pelas alternativas de referência A1, A2, A3

Os valores de referência foram escolhidos tendo em conta um espaçamento equilibrado, refletindo tanto quanto possível as escalas *Likert* subjacentes.

Quanto aos pesos dos critérios, foram definidos dois conjuntos de valores, P1 e P2. O conjunto P1 dá maior relevância à segurança, enquanto que P2 privilegia o conforto de circulação:

	Conforto	Segurança	Envolvente	Largura	Interseções
P1 =	(10,	35,	20,	25,	10) %
P2 =	(35,	15,	15,	25,	10) %

Por fim, foram definidos os limiares de indiferença, preferência e veto:

	Conforto	Segurança	Envolvente	Largura	Interseções
Indiferença =	(0.5,	0.5,	0.3,	0.1,	0.5)
Preferência =	(1.1,	1.1,	0.9,	0.2,	1.1)
Veto =	(2.1,	2.1,	1.5,	0.5,	2.1)

Em seguida foram introduzidos todos os valores apresentados no método através do *software Matrix, Kreation* (<http://madplus.dec.uc.pt>). A avaliação final teve em conta o procedimento pessimista apresentado pelo método. Na secção seguinte serão apresentados e analisados os resultados obtidos.

A classificação final dos arcos permite subsequentemente a tomada de decisões de forma simples. Uma decisão final tipo pode ser por exemplo “melhoramento dos arcos em más condições”. O resultado obtido pode ser ainda transformado em representações estatísticas ou em visualizações espaciais a partir de um sistema de informação geográfica (SIG), podendo-se chegar a outras conclusões, como por exemplo “melhoramento dos arcos em condições más ou medíocres na zona X”. Por último a classificação pode servir de ponto de partida para análises de otimização custo-benefício.

3.5 Análise dos Resultados da Avaliação Multicritério

De seguida efetua-se a análise, em separado, para o conjunto de pesos P1 – ênfase na segurança do ciclista (ponto principal do trabalho), e o conjunto de pesos P2 – ênfase no conforto do ciclista. Ao comparar os resultados obtidos a partir dos dois conjuntos de pesos é possível verificar que 30% dos arcos mudaram de classe ao ser privilegiado o conjunto de pesos referente ao conforto. A comparação poderá ser útil na priorização de intervenções, no âmbito de um procedimento de gestão municipal, de modo a complementar a análise - como será referido posteriormente.

3.5.1 Resultados com o Conjunto de Pesos P1 – Ênfase na Segurança dos Ciclistas

Na Figura 3.15 é possível observar os resultados obtidos considerando o conjunto de pesos P1 com ênfase na segurança.

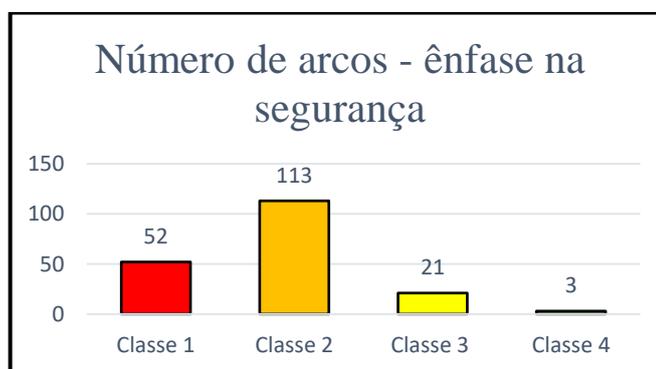
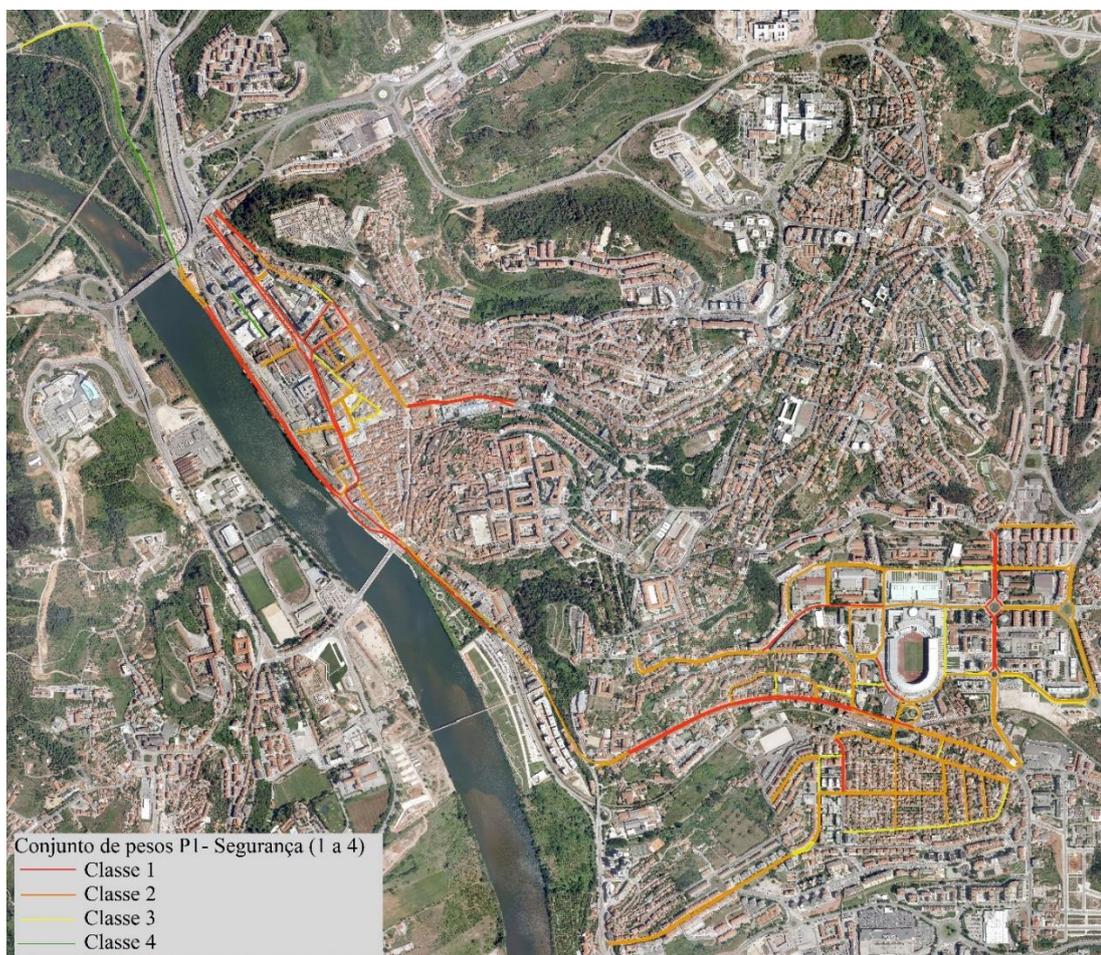


Figura 3.15 - Resultados com o conjunto de pesos P1 (global): classe 1 (a pior) a classe 4 (a melhor)

Em termos globais, e analisando o conjunto das três zonas de estudo é possível verificar que apenas 2% dos arcos analisados (3 de 189) foram classificados como classe 4, ou seja, seguros para a circulação de ciclistas. Apesar de estarem todos localizados na zona da Baixa e de estarem interligados, estes não possibilitam a ligação a outros pontos de interesse. Ao encontrarem-se associados a uma das zonas verdes da cidade servem principalmente para fins recreacionais.

Com segurança razoável o número também é pequeno. Apenas 11% (21 de 189) foram classificados como sendo de classe 3. Ainda que tenham sido classificados na segunda classe mais alta, a sua segurança fica aquém do desejado. Devido ao seu reduzido número e dispersão pelas três zonas também não permitem a ligação a diferentes pontos importantes.

Mais de metade dos arcos, 60% (113 de 189) apenas fornecem condições medíocres de segurança (classe 2), enquanto que 27% dos arcos (52 de 189) foram classificados como classe 1. Estes arcos não apresentam praticamente condições de segurança para os ciclistas. A presença de um ciclista num destes arcos, para além de colocar a sua integridade em risco, tem uma influência direta no normal fluxo de tráfego e na segurança dos veículos motorizados, assim como no tráfego pedonal.

Para as três zonas é possível observar a relação existente entre a hierarquização viária e os resultados obtidos. As vias coletoras e distribuidoras principais apresentam os piores resultados de todas as vias em análise, em grande parte (como já foi visto anteriormente), devido às características consideradas no critério “segurança”, como o elevado volume de tráfego motorizado ou a inexistência de separação em relação a esse mesmo tráfego que em termos desta análise têm um grande peso. Por outro lado, em distribuidoras locais e acesso locais onde o volume de tráfego é menor, e por isso a necessidade de separação também seria menor (apesar de continuar a ser inexistente), aumenta a frequência e extensão de estacionamento e logradouros, outro critério com um peso relevante em termos de segurança.

Estes resultados vão ao encontro da realidade observável no dia-a-dia da cidade: a inexistência de ciclistas. Embora existam outros fatores que diminuem a utilização da bicicleta numa zona urbana, como já foi apresentado no capítulo 2, na cidade de Coimbra as condições da infraestrutura não permitem a utilização da bicicleta nem para fins utilitários nem para fins recreacionais. A falta de segurança é de tal forma geral que nem em zonas mistas, como é o caso da zona da Baixa ou zona da Solum, existe a possibilidade de ligação de uma zona residencial a uma zona comercial, por exemplo. Todas as distâncias que seriam possíveis cobrir em bicicleta num nível razoável ou bom de segurança podem ser feitas a pé.

Comparando as três zonas em análise é possível concluir que é a zona da Baixa que apresenta os piores resultados, com 38% dos arcos atribuídos à classe 1 e 46% atribuídos à classe 2. A zona da Baixa é também a zona mais heterogénea ao nível da segurança. Ao invés, o Bairro Norton de Matos apresenta a maior homogeneidade, com 72% dos arcos atribuídos à classe 2.

É evidente que se trata de uma homogeneidade bastante penalizante e que acaba por implicar condições de segurança quase tão más quanto uma zona heterogénea como é o caso da zona da Baixa.

Em suma, não se encontram reunidas condições de segurança suficientes que permitam a utilização da bicicleta como um modo de transporte diário viável em nenhuma das zonas analisadas.

3.5.2 Resultados com o Conjunto de Pesos P2 – Ênfase no Conforto dos Ciclistas

Na Figura 3.16 é possível observar os resultados obtidos considerando o conjunto de pesos P2 com ênfase no conforto.

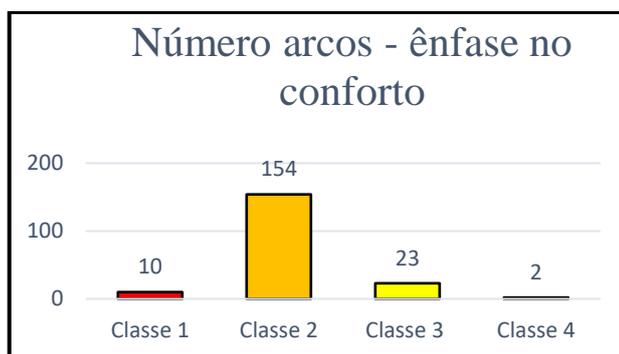
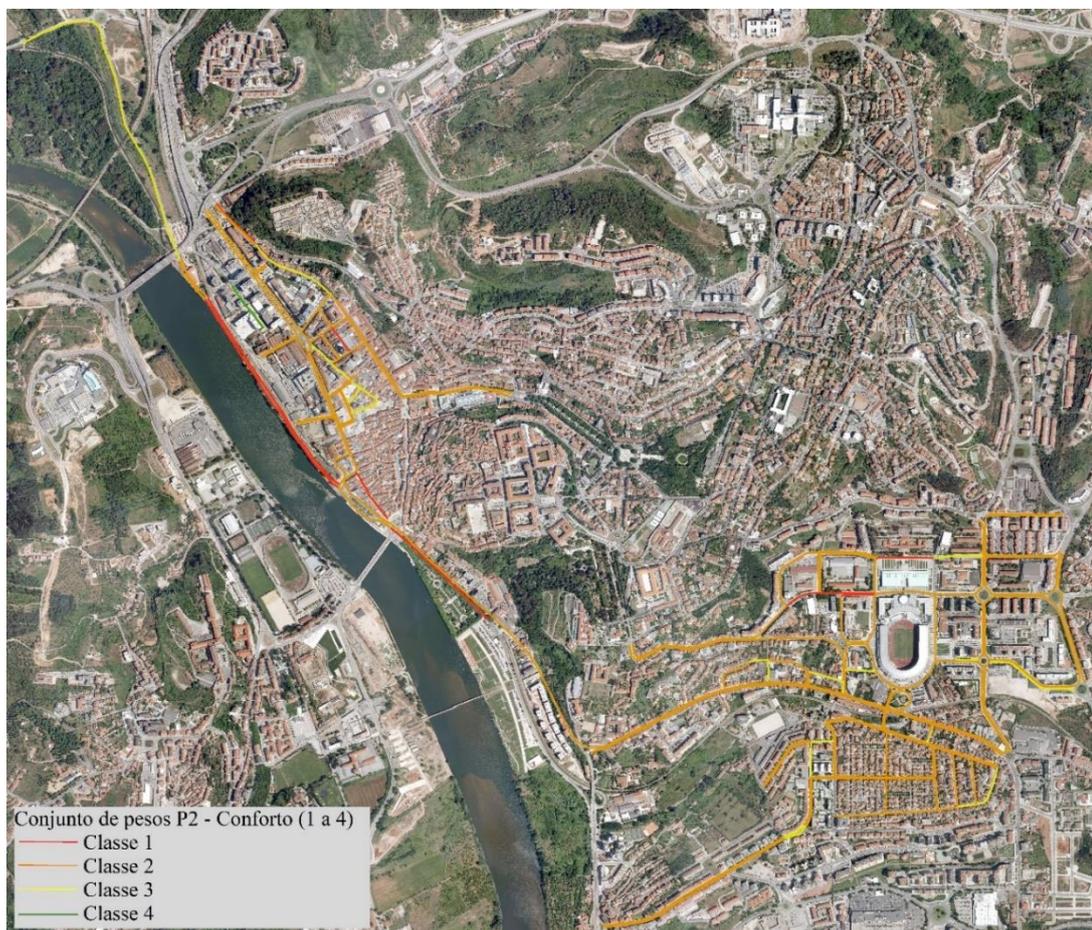


Figura 3.16 - Resultados com o conjunto de pesos P2 (global): classe 1 (a pior) a classe 4 (a melhor)

No global apenas 5% dos arcos (10 de 189) foram classificados como classe 1. A maioria dos arcos, 82% (154 de 189) foram classificadas como classe 2. Por fim 12% (23 de 189) e 1% dos arcos (2 de 189) foram atribuídos às classes 3 e 4 respetivamente.

Em termos de conforto observa-se uma grande homogeneidade nos resultados, em especial na zona da Solum e no Bairro Norton de Matos com respetivamente 85% e 86% dos arcos a pertencem à classe 2. Contudo, apenas significa que é possível generalizar e afirmar que a maioria dos arcos em análise não apresenta um conforto adequado para a circulação dos ciclistas. De facto, com 164 arcos classificados como maus ou medíocres a infraestrutura existente praticamente não oferece conforto aos ciclistas e torna as deslocações inadequadas por mais curtas que sejam.

Com um maior peso para características como o tipo e estado de conservação do pavimento, os resultados obtidos não apresentam qualquer relação com a hierarquização viária existente.

Em suma, tal como os resultados apresentados ao nível da segurança, torna-se impossível a circulação da bicicleta nas zonas em análise, existindo apenas 25 arcos atribuídos às duas classes superiores que se encontram muito dispersos e isolados, que todas as distâncias que seriam possíveis cobrir de bicicleta podem ser feitas, de novo, a pé.

3.5.3 Comparação dos Resultados Obtidos a Partir dos Conjuntos de Pesos P1 e P2

A partir da Figura 3.17 é possível observar a comparação dos resultados obtidos a partir dos conjuntos de pesos P1 e P2.

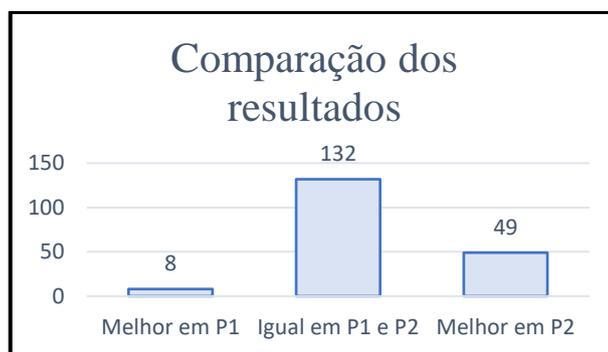
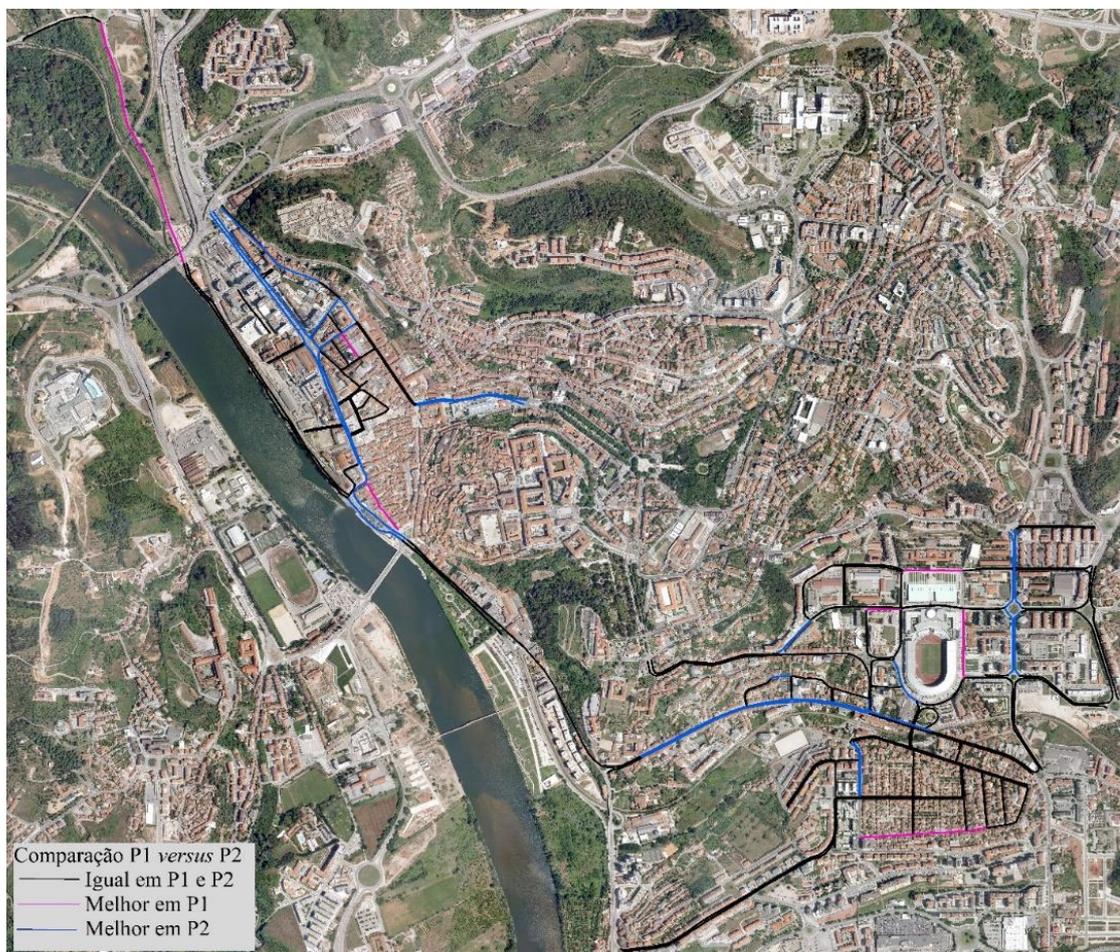


Figura 3.17 - Comparação dos resultados (globais) obtidos com os conjuntos de pesos P1 (ênfase na segurança) e P2 (ênfase no conforto)

É possível verificar que 70% dos arcos analisados (132 de 189) mantiveram a classe independentemente do conjunto de pesos em consideração. Dos 30% que mudam de classe, apenas 8 obtiveram uma melhor classificação no conjunto de pesos P1 – ênfase na segurança. É na zona da Baixa que é possível observar uma maior mudança relativa de classe, com 40% dos arcos a sofrerem alteração. Nenhum dos arcos variou mais do que uma classe entre os dois conjuntos.

Ao contrário do que se observa para o conjunto de pesos P1, em termos do conjunto de pesos P2 já não se observa uma relação entre a hierarquização viária e a classificação final de cada arco.

No geral, e como já foi possível concluir nos subcapítulos anteriores, nenhum dos conjuntos de pesos apresenta bons resultados para os arcos em análise. Apesar de uma melhoria ao nível do conforto, são poucos os arcos que apresentam condições de segurança e de conforto razoáveis ou boas. Apresenta-se nos Quadros 3.3 e 3.4 um resumo dos resultados obtidos para cada um dos conjuntos de peso, assim como na Figura 3.18, exemplos práticos de arcos levantados e respetiva classificação.

Quadro 3.3 - Quadro resumo dos resultados obtidos para o conjunto de pesos P1 (ênfase na segurança)

Conjunto de Pesos P1				
Número de segmentos por classe (percentagem)				
Local	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Zona da Baixa	38.1	46.0	11.1	4.8
Bairro N. Matos	10.3	71.8	17.9	0.0
Solum	27.6	64.4	8.0	0.0
Geral	27.5	59.8	11.1	1.6

Quadro 3.4 - Quadro resumo dos resultados obtidos para o conjunto de pesos P2 (ênfase no conforto)

Conjunto de Pesos P2				
Número de segmentos por classe (percentagem)				
Local	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Zona da Baixa	9.5	73.0	14.3	3.2
Bairro N. Matos	0.0	84.6	15.4	0.0
Solum	4.6	86.2	9.2	0.0
Geral	5.3	81.5	12.2	1.1

Classe	Conjunto P1 – Ênfase na segurança	Conjunto P2 – Ênfase no conforto
1 (mau)		
2 (medíocre)		
3 (razoável)		
4 (bom)		

Figura 3.18 - Exemplos práticos dos arcos levantados e respetiva classificação

Em conclusão, não existem condições ao nível da infraestrutura nos arcos em análise que permitam uma adequada circulação da bicicleta que possibilite ligar diversos pontos de interesse e zonas da cidade de Coimbra. Esta conclusão vem ao encontro da realidade que é possível observar no dia-a-dia: é muito reduzida a utilização da bicicleta como modo de transporte diário nas zonas em análise.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1 Metodologia de Aplicação

A metodologia apresentada pode ser utilizada de duas formas distintas numa análise à bicicleta como modo de transporte ativo diário em zonas urbanas, como a seguir se descreve.

Aptidão à ciclabilidade: a metodologia proporciona uma forma prática e expedita de recolher e analisar dados relativamente ao estado atual da aptidão à ciclabilidade de uma zona urbana, com base em características e condições reais das infraestruturas. Esta informação constitui, no fundo, uma base de dados das condições de segurança e de conforto da rede viária para circulação de bicicletas, e oferece ao decisor municipal uma imagem geral do estado do território e infraestruturas de transporte sob a sua alçada no que toca a este modo de transporte ativo.

Manutenção e planeamento: a opção metodológica por critérios relacionados com elementos físicos intervencionáveis pelas autoridades municipais e o método de análise, permite o posterior desenvolvimento de estratégias de intervenções na rede existente, com vista à melhoria desta para a ciclabilidade, e de expansão da rede para ampliar o serviço prestado à população.

A metodologia foi desenvolvida de modo a ser aplicada por decisores municipais, independentemente do tamanho ou localização da zona urbana, em termos estratégicos ou de manutenção. A facilidade e rapidez da recolha de dados permite a escalabilidade da metodologia a áreas grandes, possivelmente até cidades inteiras. Os resultados obtidos podem ser adaptados para representações estatísticas ou espaciais, a partir de um sistema de informação geográfica (SIG), e podem também ser usados como input para métodos mais avançados de otimização de intervenções na rede.

Com a implementação de dois conjuntos de pesos, o método permite não só uma maior distinção relativamente à adequabilidade da rede com base na segurança e/ou no conforto, mas também ao nível da manutenção e do planeamento. Neste segundo caso, a comparação de resultados entre os dois conjuntos de pesos poderá levar a uma diferenciação entre arcos que obtiveram a mesma classificação para um dos conjuntos de pesos, mas diferente para o outro conjunto. Consequentemente esta maior diferenciação poderá resultar em decisões do tipo: “apesar do arco X apresentar a mesma classe de segurança que o arco Y, devido a ter obtido uma pior classe de conforto, o arco X deverá ser intervencionado primeiro”.

Como o estudo de caso demonstra, a metodologia fundamenta-se em princípios que traduzem de forma bastante natural e clara os aspetos relevantes envolvidos em problemas de decisão, nomeadamente em problemas técnicos de engenharia, permitindo, em desenvolvimentos futuros, adicionar outros fatores considerados relevantes na análise, tais como limitações orçamentais.

4.2 Conclusões

É possível observar um crescente interesse em modos de transporte ativos, com especial atenção para a bicicleta. As vantagens da sua utilização em termos ambientais, económicos e ao nível da saúde está vastamente documentada cientificamente, e é unânime em todas as áreas de investigação, assim como governamentais. De facto, o interesse político, seja a nível regional ou nacional também tem vindo a aumentar com inúmeras cidades e países a criarem infraestruturas dedicadas, serviços de partilha de bicicletas, incentivos à sua utilização ou modificação e criação de leis que possibilitem um aumento do uso da bicicleta.

A EuroVelo, uma rede ciclável para toda a Europa, é um exemplo da cooperação existente entre os governos regionais e nacionais de diversos países com diversas federações como é o caso da Federação Portuguesa de Cicloturismo e Utilizadores de Bicicleta em Portugal. Em Portugal, está já implementada com a criação da EuroVelo 1 – rota da costa Atlântica, que liga Caminha a Vila Real de Santo António sempre pela costa.

O aumento do uso da bicicleta como modo de transporte diário trata-se de uma transformação complexa que envolve a modificação e criação de infraestruturas, mas também grandes investimentos económicos e sociais.

É ao nível da infraestrutura que mais foco existe, tanto a nível científico como a nível governamental, de onde se destacam inúmeros exemplos ao nível do desenho e boas regras para a criação de espaços segregados, ou não, para a circulação da bicicleta. Contudo, grande parte das zonas urbanas existentes encontram-se muito consolidadas, influenciadas por diferentes culturas e diferentes fins. Implementar infraestruturas teoricamente ideais torna-se muito difícil senão mesmo impossível. Além disso, alterar as infraestruturas físicas da cidade, como é o caso da edificação ou transportes poderá levar décadas, enquanto que alterações tecnológicas de veículos demoram menos tempo.

Nesta dissertação foi apresentada uma metodologia de análise multicritério, baseada em critérios intervencionáveis e recorrendo ao método de classificação ELECTRE Tri, para a avaliação da adequação da rede viária pré-existente à circulação de bicicletas. Foi aplicada a um estudo de caso de 189 arcos, dispersos por três zonas da cidade de Coimbra, Portugal.

A cidade de Coimbra é o exemplo de uma cidade média que se apresenta muito consolidada e com uma hierarquização viária inadequada em algumas zonas. A metodologia não se destina a

alterar a infraestrutura; apenas tem como objetivo avaliar e servir de ponto de partida para ações futuras. É apresentado um estudo de caso adequado de modo a testar a metodologia proposta.

Para o estudo de caso foram considerados dois conjuntos de pesos. Apesar do principal foco da dissertação ser a segurança do ciclista, criou-se também um conjunto de pesos que permitiu focar também o seu conforto. A utilização de dois conjuntos de pesos possibilita uma melhor organização e planeamento das intervenções a realizar. Dos 189 arcos em análise, 57 sofreram alterações na classificação considerando os dois diferentes conjuntos de pesos.

Das três zonas em análise, a Baixa destaca-se como a zona com menores condições de circulação. Este resultado vai de encontro às expectativas iniciais que já previam um pior nível de serviço conforme mais consolidada e heterogénea fosse a zona em análise. Ao invés, o Bairro Norton de Matos apresenta os melhores resultados tendo em conta exatamente a homogeneidade da zona.

A partir do estudo de caso é ainda possível concluir que, independentemente do grau de foco que se coloque na segurança, grande parte dos arcos em análise da cidade de Coimbra não apresentam níveis de segurança adequados para os ciclistas. Por isso, de modo a aumentar a utilização da bicicleta na cidade de Coimbra, um dos primeiros passos deverá ser o melhoramento das condições de segurança dos ciclistas.

Do estudo é possível concluir que não existem condições de ciclabilidade adequadas e por isso, é necessário realizar intervenções nas três zonas em análise de maneira a adequá-las à circulação de bicicletas.

Embora não se trate de uma análise exaustiva, os resultados obtidos deixam antever uma rede com falhas consideráveis para o modo de bicicleta, principalmente ao nível da segurança, mas também no conforto dos ciclistas. Dada a classificação obtida tanto ao nível da segurança como ao nível do conforto dos ciclistas não é de estranhar que o uso da bicicleta no presente na cidade de Coimbra seja restrito a atividades de lazer.

É realmente mais uma constatação de que todas as políticas do passado privilegiaram em exclusivo o modo de transporte em automóvel individual, algo que em todos os países desenvolvidos, e mesmo em desenvolvimento se tenta agora combater (com especial ênfase nas deslocações em meio urbano), pelas razões já enunciadas neste trabalho. Técnicos e políticos andaram de mão dada, fomentando o uso do transporte automóvel baseado em combustíveis fósseis, aumentando as emissões, a congestão, o ruído, atraindo para o centro das cidades tráfego automóvel com o negócio da construção, no centro destas, de grandes parques de estacionamento em estrutura, etc. A ausência de redes de transporte coletivo eficazes fomentou também esse caminho que agora necessita de ser revertido.

4.3 Trabalhos Futuros

A metodologia apresentada foi aplicada a um caso de estudo de apenas 189 arcos, para os quais o levantamento de dados foi realizado apenas por um observador. De modo a realizar mais testes ao método, propõe-se a realização de um estudo muito mais abrangente, englobando a totalidade de uma zona urbana de tamanho médio.

Também a utilização de mais do que um observador, no máximo três, também poderá fornecer resultados mais representativos das condições reais.

Tratando-se de um método multicritério, de acordo com as características da zona urbana em análise, o método pode-se adaptar a características pré-existentes, como por exemplo a existência e condições de iluminação (importante para viagens noturnas ou no período de inverno) ou a existência ou não, de intermodalidade nos arcos. Contudo, é preciso ter em mente que adicionar características e critérios à análise irá tornar o processo mais lento e menos expedito. A inclusão ou alteração de critérios necessitará sempre de ser verificada e testada. Este tipo de modificações alterará e acrescentará parâmetros novos ao método multicritério, assim como uma modificação do conjunto de pesos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO (2010). AASHTO Guide for the Planning Design, and Operation of Bicycle Facilities – DRAFT VERSION, American Association of State Highway and Transport Officials, United States of America, 1-213.

ACIRN (2013), Guia de Boas Práticas para a Conceção de Ciclovias, Associação de Ciclistas do RN, Brasil, 1-82.

Allen-Munley, C. e Daniel, J. (2006), Urban Bicycle Route Safety Rating Model Application in Jersey City, New Jersey, *Journal of Transportation Engineering* Vol. 132 n° 6, 499-507.

Bachand-Marleau, J., Larsen, J. e El-Geneidy, A. (2011), Much-Anticipated Marriage of Cycling and Transit: How Will it Work?, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n° 2247, 109-117.

Beura, S. e Bhuyan, P. (2017), Development of a Bicycle Level of Service Model for Urban Street Segments in Mid-Sized Cities Carrying Heterogeneous Traffic: A Functional Networks Approach, *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English edition)*, n° 4 (6), 503-521.

Beura, S., Kumar, N. e Bhuyan, P. (2017), Level of Service for Bicycle Through Movement at Signalized Intersections Under Heterogeneous Traffic Flow Conditions, *Transportation in Developing Economies*, 1-12.

Buehler, R. (2012), Determinations of Bicycle Commuting in the Washington, DC Region: The Role of Bicycle Parking, Cyclist Showers, and Free Car Parking at Work, *Transportation Research Part D*, n° 17, 525-531.

Buekers, J., Dons, E., Elen, B. e Int Panis, L. (2015), Health Impact Model for Modal Shift from Car use to Cycling or Walking in Flanders: Application to Two Bicycle Highways, *Journal of Transport & Health* 2, 549-562.

Callister, D. e Lowry, M. (2013), Tools and Strategies for Wide-Scale Bicycle Level-of-Service Analysis, *Journal of Urban Planning and Development*, 250-257.

Caulfield, B. (2014), Re-cycling a City – Examining the Growth of Cycling in Dublin, *Transportation Research Part A* n° 61, 216-226.

Caulfield, B. e Short, J. (2014), The Safety Challenge of Increased Cycling, *Transport Policy* n° 33, 154-165.

Cauwenberg, J., Clarys, P., Bourdeaudhuij, I., Ghekiere, A., Geus, B., Owen, N., Deforche, B. (2018), Environmental Influences on Older Adults' Transportation Cycling Experiences: A Study Using Bike-Along Interviews, *Landscape and Urban Planning* 169, 37-46.

De Nazelle, A., Nieuwenhuijzen, M., Antó, J., Brauer, M., Briggs, D., Braun-Fahrlander, C. (2011), Improving Health Through Policies that Promote Active Travel: A Review of Evidence to Support Integrated Health Impact Assessment, *Environmental International* 37, 766-777.

Edwards, R., Mason, C. (2014), Spinning the Wheels and Rolling the Dice: Life-Cycle Risks and Benefits of Bicycle Commuting in the U.S., *Preventive Medicine* 64, 8-13.

Emery, J. e Crump, Carolyn. (2003), The WABSA Project – Assessing and Improving Your Community's Walkability & Bikeability, Department of Health Behaviour and Health Education – University of North Carolina at Chapel Hill, 1-42.

EC - European Commission (1999). *Cycling: the way ahead for towns and cities* - Directorate-General for the Environment, Bélgica, 1-63.

Gebhardt, L., Krajzewicz, D., Oostendorp, R., Goletz, M., Greger, K., Klotzke, M., Wagner, P., Heinrichs, D. (2016), Intermodal Urban Mobility: Users, Uses and Use Cases, *Transportation Research Procedia* no.14, 1183-1192.

Goeverden, K., Nielsen, T., Harder, H. e Nes, R. (2015), Interventions in Bicycle Infrastructure, Lessons from Dutch and Danish Cases, *Transport Research Procedia* 10, 403-412.

Goodchild, F. (2009), Geographic Information System. *Encyclopedia of Database Systems*, Springer, Boston, United States of America, 1218-1286.

IMT (2012), *Ciclando: Plano da Promoção da Bicicleta e Outros Modos Suaves*, Instituto da Mobilidade e dos Transportes, Lisboa, Portugal, 1-133.

IMT (2013), *Promoção da Bicicleta e outros Modos Suaves*, Instituto da Mobilidade e dos Transportes, Congresso Internacional da Promoção da Mobilidade Suave, Porto, Portugal, 1-40.

IMT (2016), *Regulamento Geral do Projeto U-Bike Portugal*, Instituto da Mobilidade e dos Transportes, Lisboa, Portugal, 1-12.

Law, S. e Karnilowicz, W. (2015), 'In Our Country it's Just the Poor People Who Ride a Bike': Place, Displacement and Cycling in Australia, *Journal of Community & Applied Social Psychology* n° 25, 296-309.

Majumdar, B. e Mitra, S. (2015), Identification of factors influencing bicycling in small sized cities: A case study of Kharagpur, India, *Case Studies on Transport Policy* 3, 331-346.

Mousseau, V., Slowinski, R. e Zielniewicz, P. (2000), A User-oriented Implementation of the ELECTRE-Tri Method Integrating Preference Elicitation Support, *Computers & Operation Research* n° 27, 757-777.

Mayor of London (2014). *London Cycling Design Standards*, Mayor of London, London, United Kingdom.

National Transport Authority (2011). *National Cycle Manual*, National Transport Authority, Dublin 2, Ireland, 1-226.

Natividade-Jesus, E. e Tralhão, L. (2013), Housing Evaluation with Web-SDSS in Urban Regeneration Actions, *Municipal Engineer*, Volume 000 Issue ME000, 1-14.

Pucher, J. Buehler, R. (2008), Making Cycling Irresistible: Lessons from The Netherlands, Denmark and Germany, *Transport Reviews*, 28:4, 495-528.

Pucher, J., Dill, J. e Handy, S. (2010), Infrastructure, Programs, and Policies to Increase Bicycling: An International Review, *Preventive Medicine*, no.50, 106-125.

Ribeiro, N., Tralhão, L., Coutinho-Rodrigues (2013), J. e Sousa, N., Building a Bicycle Suitability Map for Coimbra, *Energy for Sustainability 2013 – Coimbra*, 8 a 10 de Setembro de 2013, 1-5.

Seco, A., Antunes, A., Costa, A. e Bastos, A. (2008), *Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária: Princípios Básicos de Organização de Redes Viárias*, Comissão e Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, Portugal, 1-72.

Sousa, N., Coutinho-Rodrigues, J., Natividade-Jesus, E. (2017), Sidewalk Infrastructure Assessment Using a Multicriteria Methodology for Maintenance Planning, *ASCE Journal of Infrastructure Systems*, 1-9.

Tralhão, L., Ribeiro, N., Sousa, N. e Coutinho-Rodrigues, J. (2014), Design of Bicycling Suitability Maps for Hilly Cities, *Institution of Civil Engineers – Municipal Engineer*, Volume 168 Issue ME2, 96-105.

Turner, S., Shafer C. e Stewart, W. (1997), *Bicycle Suitability Criteria for State Roadways in Texas*, Texas Transportation Institute, Texas, EUA, 1-53.

Verma, M., Rahul, T., Reddy, P. e Verma, A. (2016) The Factors Influencing Bicycling in the Bangalore City, *Transportation Research Part A*, n° 89, 29-40.