



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

Estudo da Adequação de Áreas Urbanas aos Modos Suaves de Transporte – Utilização de Tecnologia SIG em Aplicação à Cidade de Coimbra

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Urbanismo, Transporte e Vias de Comunicação

Autor

Nuno Antunes Ribeiro

Orientador

Professor Doutor João Manuel Coutinho Rodrigues

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correcções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, Julho, 2013

AGRADECIMENTOS

Antes de mais, gostaria de manifestar os mais sinceros agradecimentos a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para que fosse possível a realização desta dissertação.

Gostaria de agradecer, em especial, ao Professor Doutor João Manuel Coutinho Rodrigues, todo o apoio e disponibilidade que sempre demonstrou durante a realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Lino Tralhão um especial agradecimento por toda a ajuda demonstrada, transmissão de conhecimentos, sugestões e produtivas discussões, que não só foram muito úteis na realização desta dissertação, como terão a sua influência ao longo de toda a minha vida.

Ao Departamento de Engenharia Civil e a todos os Professores que intervieram na minha formação, agradeço todos os conhecimentos transmitidos bem como o material disponibilizado. Um agradecimento particular, a todos os Professores e Colegas da especialidade de Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação, área que me acolheu nesta última etapa de formação.

À minha Mãe um obrigado muito especial, por estar sempre presente na minha vida, e por todos os conhecimentos e valores que me transmitiu, que em muito ajudaram a tornar possível a concretização desta etapa. Ao meu Pai, um agradecimento também ele muito especial, por todos os ensinamentos, e por estar sempre presente quando necessário, de realçar a sua ajuda na realização deste trabalho ao ter-me acompanhado em visitas de “campo” e ao me “emprestar” a bicicleta. À minha irmã, por também ela ter tido um papel fundamental no meu crescimento e por ser um motivo de orgulho e um exemplo que sempre seguirei. Aos meus Avós muito tenho a agradecer e tudo o que já foi referido é igualmente aplicável a eles. Ao meu Primo João Pedro, por todo o seu companheirismo ao longo de toda a minha infância e juventude. À restante família deixo também o meu agradecimento.

A todos os meus amigos, em especial à Joana, ao Leandro, e ao Filipe, por tornarem a minha vida mais feliz e por saber que posso contar sempre convosco. Foram também fundamentais para a concretização deste trabalho.

RESUMO

A crescente escolha por modos de transporte mais rápidos (principalmente o automóvel privado) alterou profundamente a organização espacial das cidades. O aumento das distâncias percorridas incentivado pelo aumento das velocidades de deslocação e pela dispersão urbana, conduziu a um aumento do consumo de energia. Actualmente o sector dos transportes é responsável por um enorme consumo de energia, correspondente a cerca de 61.5% do consumo total mundial de petróleo e 32% do consumo de energia global na EU-27 (dados EUROSTAT de 2011). Devido às insustentáveis condições dos transportes, muitas cidades sofrem hoje com congestionamentos e vários outros problemas de tráfego. Tais situações agravam-se com soluções que têm em vista o desenvolvimento de novas infraestruturas motorizadas e infraestruturas de estacionamento. Sob o ponto de vista energético, a bicicleta é considerada o modo de transporte mais eficiente, mesmo considerando o modo pedonal, e contribui para a sustentabilidade urbana dadas as vantagens ambientais, económicas e sociais, associadas. Em muitos países, um grande número de iniciativas políticas tem-se centrado em desencorajar o uso do automóvel particular, incentivando a utilização de modos de transporte mais sustentáveis, como o transporte colectivo e a bicicleta. Dada a importância do desenvolvimento de iniciativas que favoreçam o uso da bicicleta como modo de transporte urbano, uma análise de adequação da cidade, incluindo distâncias e declives da rede urbana, é fundamental a fim de ajudar decisores no planeamento da cidade para o uso da bicicleta. Neste estudo, foi usada tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para esse fim, e são apresentados alguns resultados obtidos para a cidade de Coimbra.

ABSTRACT

The adoption of faster modes of transportation (mainly the private car) has changed profoundly the spatial organization of cities. The increase in distance covered due to increased speed of travel and to urban sprawl leads to an increase in energy consumption, being the transportation sector a huge consumer responsible for 61.5% of total world oil consumption and a global final energy consumption of 32% in EU-27 (EUROSTAT 2011). Due to unsustainable transportation conditions, many cities suffer from congestion and various other traffic problems. Such situations get worse with solutions mostly seen in the development of new infrastructure for motorized modes of transportation, and construction of car parking structures. The bicycle, considered the most efficient among all modes of transportation including walking, is a travel mode that can be adopted in most cities contributing for urban sustainability given the associated environmental, economic and social advantages. In many nations a large number of policy initiatives have focused on discouraging the use of private cars, encouraging the use of sustainable modes of transportation, like public transportation and other forms such as bicycling. Given the importance of developing initiatives that favour the use of bicycle as an urban transportation mode, an analysis of city suitability, including distances and slopes of street network, is crucial in order to help decision-makers to plan the city for bicycle. In this research Geographical Information Systems (GIS) technology was used for this purpose and some results are presented concerning the city of Coimbra.

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento do Tema	1
1.2 Estrutura da Dissertação.....	3
2 A BICICLETA COMO MODO DE DESLOCAÇÃO URBANO.....	4
2.1 Considerações Gerais	4
2.2 Medidas de Promoção do Uso da Bicicleta.....	9
2.3 Aspectos Técnicos.....	14
3 CONSIDERAÇÕES SOBRE SIG E MODELO USADO	18
3.1 NetworkAnalyst	19
3.2 Modelo SIG.....	22
4 CASO DE ESTUDO – COIMBRA	26
4.1 Determinação dos Declives e Tratamento da Rede.....	26
4.1.1 Cálculo dos Declives.....	26
4.1.2 Tratamento da Rede em SIG.....	28
4.1.3 Composição da Rede Subjacente	33
4.2 Permeabilidade da Rede	33
4.3 Análise de População	39
4.4 Localização de Possíveis Elevadores	41
4.5 Um Potencial Circuito Principal	43
4.6 O Problema do Pólo I da Universidade.....	47
4.7 Outras Soluções – Integração com o Transporte Colectivo.....	49
4.8 Outros Resultados - Matrizes OD e Alguns Percursos	52
4.8.1 Matrizes OD.....	54
4.8.2 Alguns Percursos	58
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	60
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXO	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1– Comparação de impactos ambientais relativos a vários modos de transporte relativamente ao automóvel	4
Figura 2.2 – Comparação de tempos de percurso em vários modos de transporte	5
Figura 2.3 – Utilização do modo bicicleta em vários países (% de viagens)	6
Figura 2.4 – Comparação entre a média de poluentes respirados numa hora por ciclistas e automobilistas, no mesmo trajecto (Fonte: EC, 2000)	7
Figura 2.5 – Comparação entre custos externos e internos gerados pela bicicleta e pelo automóvel em Viena (Fonte: Trunk 2011)	8
Figura 2.6 – Relação número de mortes com o número médio de quilómetros percorridos por pessoa em vários países (Fonte: OCDE, 2004)	8
Figura 2.7 – Relação velocidade/risco de morte, para um peão ou ciclista que se encontre 15 metros à frente de um veículo (Fonte: EC, 2000)	10
Figura 2.8 – Balanço do investimento em infraestruturas e medidas de promoção	12
Figura 2.9 – Algumas soluções adoptadas, em várias cidades do Mundo, para contornar o problema de desníveis elevados	14
Figura 2.10 – Modelos de regressão linear para a velocidade e aceleração	15
Figura 2.11 – Potência, velocidade e aceleração consoante os declives	17
Figura 3.1 – Janela do NA onde se define um atributo da rede virtual	21
Figura 4.1 – Aspectos apresentados por um DTM e por um DSM	26
Figura 4.2 – Cálculo dos declives	27
Figura 4.3 – Alguns campos pertinentes das tabelas de atributos relativas à rede subjacente	28
Figura 4.4 – Aptidão ciclável (Declives) na malha urbana da Cidade de Coimbra segundo a tabela da AAHSTO (a branco encontram-se os arcos não cicláveis)	32
Figura 4.5 – Permeabilidade da rede relativamente a deslocação em bicicleta com origem e destino no Pólo II da Universidade de Coimbra	33
Figura 4.6 – Permeabilidade geral da rede - em evidência desconexões fundamentais	35
Figura 4.7 – CAD pormenor de projecto Metro Mondego, relativo à zona do troço 2	37
Figura 4.8 – Permeabilidade geral da rede, considerando todos os arcos que respeitam a tabela AASHTO	38

Figura 4.9 – Sobreposição das áreas de influência cicláveis na região em estudo com as quadrículas de população	40
Figura 4.10 – Elevadores e circuito ciclável considerado	43
Figura 4.11 – Permeabilidade geral considerando o circuito em ambos os sentidos	46
Figura 4.12– Acesso de Celas aos Arcos do Jardim e da Baixa ao elevador do Mercado	48
Figura 4.13 – Permeabilidade tendo em conta a linha do Metro, ambos os sentidos.	50
Figura 4.14 – Área de influência do Metro, pedonal e ciclável	51
Figura 4.15 – Localização dos Atractores (P) e Geradores (C) em Coimbra	53
Figura 4.16 – Histogramas relativos aos tempos com circuito ciclável activo e inactivo	58
Figura 4.17 – Percursos nos sentidos Geradores - Pólo III e Pólo III - Geradores	58
Figura 4.18 – Percursos nos sentidos Geradores - Pólo II e Pólo II - Geradores	59
Figura 4.19 – Percursos nos sentidos Geradores - Pólo I e Pólo I - Geradores	59

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Comprimentos máximos aceitáveis para declives superiores a 5%	15
Quadro 3.1 – Parâmetros do modelo	23
Quadro 3.2 – Atributos do modelo	23
Quadro 4.1 – Populações abrangidas por zona	39
Quadro 4.2 – Atratores (P) e Geradores (C)	52
Quadro 4.3 – Matriz OD com tempos no sentido atrator - gerador (circuito activo)	55
Quadro 4.4 – Matriz OD com tempos no sentido gerador - atrator (circuito activo)	55
Quadro 4.5 – Matriz OD com tempos no sentido atrator - gerador (circuito inactivo)	56
Quadro 4.6 – Matriz OD com tempos no sentido gerador - atrator (circuito inactivo)	56

SIMBOLOGIA

a – Aceleração

A – Área frontal do ciclista e da bicicleta

C_D – Coeficiente aerodinâmico

C_r – Coeficiente de resistência ao rolamento

d – Declive

g – Aceleração da gravidade

i – Indicador do sentido do arco, subida ou descida

j – Indicador do modo de deslocação, de bicicleta, a pé ou de elevador.

$LenEq_k$ – Comprimento equivalente do arco

L_{jk} – Comprimento do arco

M – Massa do ciclista e da bicicleta

m_w – Massa efectiva rotacional das rodas

v_0 – Velocidade em plano

v_{down} – Velocidade em descida

v_{jk} – Velocidade no arco

v_{up} – Velocidade em subida

v_w – Velocidade do vento

α – Peso numa soma ponderada (função custo) a dar ao percurso efectuado por bicicleta

β – Peso numa soma ponderada (função custo) a dar ao percurso efectuado a pé

γ – Peso numa soma ponderada (função custo) a dar ao percurso efectuado por elevador

η – Eficiência mecânica da bicicleta

ρ – Densidade do ar

ABREVIATURAS

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

BART – Bay Area Rapid Transit

DS – Dataset

DSM – Digital Surface Model

DTM – Digital Terrain Model

ESAC – Escola Superior Agrária de Coimbra

ESEC – Escola Superior de Educação

ESEnfC – Escola Superior de Enfermagem de Coimbra

ESRI – Environmental Systems Research Institute

FC – Feature Class

FEUC – Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra

GB – Geodatabase

GPS – Global Positioning System

HUC – Hospitais da Universidade de Coimbra

INE – Instituto Nacional de Estatística

NA – Network Analyst

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SMTUC – Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra

UC – Universidade de Coimbra

VBA – Visual Basic for Applications

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do Tema

A cidade automóvel surgiu, logo após terminada a 2ª guerra mundial, nos países desenvolvidos, quando a motorização se tornou generalizada. Através dos sistemas de transportes tornou-se mais rápido e barato viajar, permitindo às populações das cidades percorrerem maiores distâncias, o que resultou num aumento da expansão urbana. O aumento das distâncias percorridas, provocadas por maiores velocidades de deslocação e consequente expansão urbana, conduziu a um aumento elevado no consumo de energia, tal como demonstrado em Newman e Kenworthy (1989).

Como reconhecido por Woodcock et al (2007) a forma urbana e as infraestruturas são a chave para o transporte sustentável. Daí que por exemplo, uma cidade mais densa (compacta) seja mais eficiente energeticamente, pois as distâncias percorridas são mais curtas, tornando mais fácil a transferência entre modos de transporte.

A bicicleta como modo de transporte representa uma mobilidade que pode ser adoptada na maioria das cidades, contribuindo para a sustentabilidade urbana, dadas as vantagens ambientais, económicas e sociais, etc. Em muitos países, um grande número de iniciativas políticas têm-se centrado em desencorajar o uso de veículos motorizados particulares, incentivando a utilização de modos de transporte sustentáveis, como os transportes colectivos, o modo pedonal ou a bicicleta (Batabyal e Nijkamp, 2013). Infraestruturas de apoio à bicicleta associadas a restrições no uso do automóvel, bem como uma boa promoção desta modalidade, são algumas das acções praticadas por muitas cidades.

A topografia, juntamente com a extensão e densidade de uma cidade, são factores muito importantes de base para a sua adequação ciclável. O exemplo mais conhecido é o de Amesterdão, ou Copenhaga, cidades compactas, com uma topografia adequada para a deslocação a partir de bicicleta. Cidades de menor dimensão são mais cicláveis pois, por norma, as viagens são mais curtas: em Amesterdão, 44% das viagens dentro da cidade, têm extensões inferiores a 2.5 km (Pucher e Buehler, 2008). Uma série de políticas restritivas e desencorajadoras ao uso do automóvel, particularmente em meio urbano, têm sido adoptadas em muitos países.

No que diz respeito à relação com o transporte colectivo, sendo a bicicleta em geral mais rápida que o modo pedonal, de acordo com Martens (2007), o uso combinado bicicleta-transporte colectivo tem visto um aumento significativo na última década em muitos países industrializados, como parte de busca de soluções mais sustentáveis, principalmente para distâncias longas.

Dada a importância do desenvolvimento de iniciativas que favoreçam o uso da bicicleta como modo urbano de transporte, uma análise de adequação da cidade, incluindo distâncias e declives de ruas, é fundamental, a fim de ajudar os decisores a planejar a cidade para este modo. Neste trabalho foi usada tecnologia SIG (Sistemas de Informação Geográfica) para esse fim, tendo sido efectuada uma aplicação à cidade de Coimbra.

Coimbra é uma cidade antiga que se expandiu a partir do seu centro histórico em novas áreas urbanas. A dimensão da cidade (no que diz respeito à sua área urbana) é um factor que pode ser considerado favorável. Outro aspecto positivo corresponde ao elevado número de estudantes que vivem na cidade (escolas secundárias, instituições de ensino superior, etc.). De facto, em geral, a população mais jovem está mais propensa à utilização dos modos suaves de transporte, como se verifica por exemplo em Muenster, cidade Alemã tipicamente estudantil, que possui a maior taxa de utilização de bicicleta do país (Pucher, 1997).

Contudo, Coimbra é caracterizada igualmente por uma orografia complicada, o que por si só se apresenta como uma das principais limitações ao uso da bicicleta como modo de deslocação na cidade. Assim, este estudo incidiu essencialmente na questão dos declives associados aos arcos da rede existente na cidade e a sua conexão a zonas importantes da cidade, para estudar a possibilidade de circulação ciclável entre zonas e, em caso de impossibilidade, identificá-las, e considerar eventuais soluções para ajudar a resolver os problemas encontrados.

Sabe-se à partida que declives superiores a 5% são indesejáveis pois estes tendem a exigir um elevado esforço por parte do ciclista, nas subidas. Quanto às descidas a tolerância é maior, porém, grandes comprimentos descendentes podem levar a velocidades excessivas que poderão tornar-se perigosas. Por vezes a questão de declives elevados pode ser contornada com auxílio a dispositivos mecânicos (por exemplo o sistema “Trampe”, tapetes rolantes, escadas rolantes, elevadores de bicicletas, funiculares, etc.).

Assim, a análise da adequação da rede de transportes existente para o uso de bicicleta em Coimbra, abordou dois aspectos importantes: i) identificação de percursos adequados à prática ciclável, no que diz respeito aos declives; ii) identificação de locais para implementação de possíveis dispositivos mecânicos que garantam conectividade entre zonas cicláveis

desconexas entre si devido a declives excessivos.

O estudo incidiu essencialmente na zona urbana de Coimbra interior à circular externa (representada no Anexo), a leste do rio, da cidade e concluiu-se, no decorrer desta dissertação, que numa primeira análise existem 4 zonas cicláveis desconexas na cidade. A maior das quais abrange cerca de 45 % da população da região em estudo, população esta que está impedida de aceder às outras zonas de bicicleta. Foi posteriormente proposta a existência de 3 dispositivos mecânicos que asseguram a conexão entre essas zonas, e que garantem uma área de influência ciclável que abrange quase 65% da área de toda a cidade em estudo e cerca de 85 % da população.

O uso dos SIG, mostrou neste trabalho, a sua adequabilidade para estudar este tipo de problemas num contexto urbano.

1.2 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em 5 capítulos.

No presente capítulo, 1, é apresentado um enquadramento geral do tema, seguido da descrição dos objectivos do trabalho bem como alguns resultados obtidos.

No capítulo 2 foi feita uma pequena revisão da literatura existente relativamente a conceitos importantes ao tema. Foram referidos alguns dos benefícios associados ao uso da bicicleta, possíveis políticas de promoção à utilização da bicicleta como modo de deslocação urbano, bem como soluções a problemas que se possam identificar. Por fim alguns aspectos técnicos relevantes à realização deste trabalho.

No capítulo 3 refere-se o SIG e em particular alguns conceitos de relevo para a elaboração da dissertação. É também descrito com algum detalhe o modelo de SIG usado ao longo do estudo.

No capítulo 4, para além de ser feito um estudo de modo a obterem-se alguns resultados relativos à permeabilidade ciclável na rede urbana de Coimbra, são apresentadas possíveis soluções para os problemas encontrados. Na última secção deste capítulo apresentam-se vários outros resultados nomeadamente matrizes origem-destino (OD) de tempos de viagem em bicicleta entre pontos, e alguns dos percursos obtidos.

No capítulo 5 são apresentadas algumas conclusões, salientando os aspectos mais relevantes deste estudo. Apresentam-se também possíveis considerações relativas a trabalhos futuros.

2 A BICICLETA COMO MODO DE DESLOCAÇÃO URBANO

2.1 Considerações Gerais

O uso da bicicleta como modo alternativo no transporte urbano constitui hoje em dia uma mais-valia para as cidades. Com a crescente utilização do automóvel particular nas últimas décadas, muitos problemas associados a este modo de deslocação têm transformado as cidades num espaço pouco acolhedor e sem qualidade de vida. Problemas de poluição, energia, tráfego ou mesmo de saúde, estão muito associados ao uso excessivo do automóvel.

Numa sociedade cada vez mais preocupada com os problemas da sustentabilidade é imprescindível arranjar soluções que tornem a mobilidade urbana mais amiga deste conceito. Vários foram os sectores que tomaram medidas para diminuição das emissões de CO₂ (gás com efeito de estufa), contudo segundo a comunidade Europeia, entre 1990 e 1997 apenas o sector dos transportes não diminuiu essas emissões, aumentando-as em 15 % (EC, 2000) . Na Figura 2.1 é apresentada uma comparação entre os diversos modos de transporte, do ponto de vista ambiental, onde se verifica claramente os benefícios da utilização da bicicleta relativamente ao automóvel (Pucher e Buehler, 2008).

	Car	Car plus catalytic converter	Bus	Bicycle	Air	Train
Space consumption	100	100	10	8	1	6
Primary energy consumption	100	100	30	0	405	34
CO ₂	100	100	29	0	420	30
Nitrogen oxides	100	15	9	0	290	4
Hydrocarbons	100	15	8	0	140	2
CO	100	15	2	0	93	1
Total atmospheric pollution	100	15	9	0	250	3
Risk of accidents	100	100	9	2	12	3

Note: Comparison with a private car based on identical journey with the same number of people/km.

Figura 2.1– Comparação de impactos ambientais relativos a vários modos de transporte relativamente ao automóvel

É sabido que muitas das viagens, particularmente em meio urbano, são perfeitamente compatíveis com a bicicleta. Por exemplo, na Europa cerca de 30% e 50% das viagens efectuadas de automóvel abrangem distâncias inferiores, a 3 km, e 5 km respectivamente. Na Figura 2.2 é feita uma comparação de tempos médios de percurso em vários modos de transporte, onde se pode verificar que para distâncias até aproximadamente 5 km, a bicicleta suplanta até o automóvel, podendo mesmo essa distância aumentar dependendo dos congestionamentos de circulação (EC, 2000). No que diz respeito à distância máxima que os cidadãos se encontram dispostos a percorrer de bicicleta em deslocações pendulares, 15 km (FHWA, 2005).

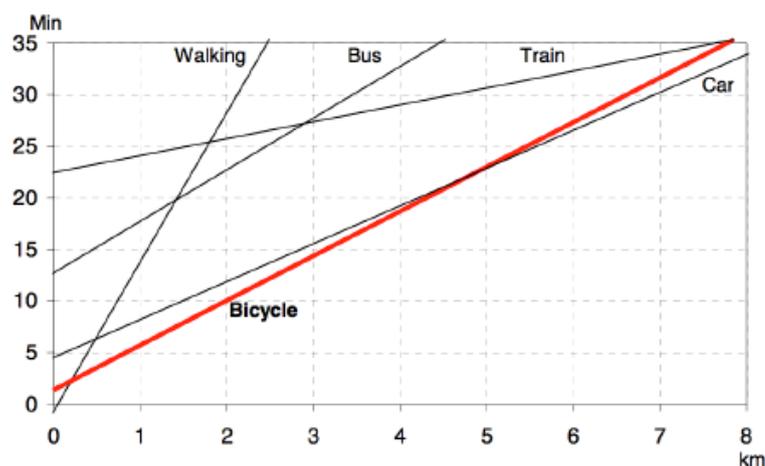


Figura 2.2 – Comparação de tempos de percurso em vários modos de transporte
(fonte: EC, 2000)

Outro aspecto de grande vantagem no uso da bicicleta, encontra-se na sua elevada eficiência energética. Com efeito, um ciclista, tendo já em consideração a energia contida nos alimentos, gasta menos 1/30 da energia gasta pelo automóvel (Lovelace et al, 2011). Este elevado consumo de energia por parte do automóvel contribui significativamente para os 61.5% de consumo mundial de petróleo de que o sector é responsável (IEA, 2012).

É por isso de não estranhar a aposta de muitos países na bicicleta como modo de transporte urbano e não apenas de recreação. Esta aposta teve um apreciável incremento a partir dos anos 80, em virtude do aumento dos preços do petróleo. De facto entre 1950 e 1975 verificou-se um grande declínio no uso de bicicleta nos países europeus, época essa aliás, em que a utilização do automóvel se expandiu. Neste período o enfoque em matéria de urbanismo, esteve no acomodar e facilitar o uso do automóvel, expandindo a capacidade das estradas e aumentando a oferta de estacionamento nas cidades, enquanto que tanto o modo pedonal como ciclável foram secundarizados. Após o primeiro choque petrolífero em 1973 e em

virtude de uma melhor consciencialização do problema da sustentabilidade ambiental, verificou-se uma dramática inversão das políticas urbanas de transporte nos países desenvolvidos. Políticas essas que mudaram a favor do modo pedonal, ciclável e transporte colectivo, tendo muitas cidades melhorado as suas infraestruturas relativas à bicicleta, procurando em contrapartida impor restrições ao uso do automóvel.

Esta evolução é referida em Pucher e Buehler (2008) onde se mostra que entre 1950 e 1975, a proporção de viagens de bicicleta caiu cerca de dois terços num conjunto (piloto) de cidades Holandesas, Dinamarquesas e Alemãs. De 1959 a 1975 estas viram reduzidas as percentagens de viagens de bicicleta de 50% - 85% para 14% - 35%.

Actualmente o uso da bicicleta é dominado pela Holanda. A Figura 2.3 apresenta um panorama recente da utilização deste meio de transporte em diversos países.

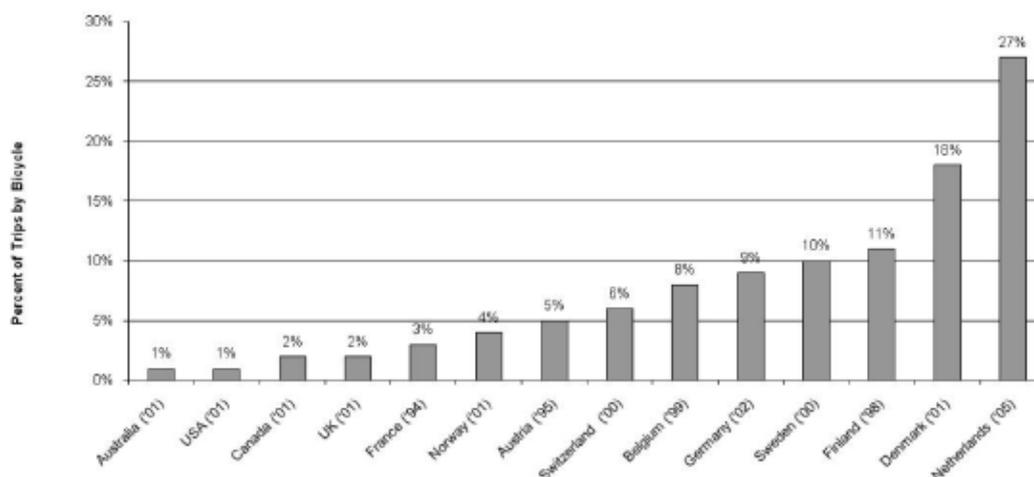


Figura 2.3 – Utilização do modo bicicleta em vários países (% de viagens)
(Fonte: Pucher e Buehler, 2008)

No que se refere a Portugal, muito há ainda a fazer, sendo evidente o seu atraso neste domínio, facto aliás que reforçou a motivação para este trabalho. Em 2010 apenas 1.6% das viagens eram feitas de bicicleta, só superando na Europa, Chipre e Malta com 0.3% e 0% respectivamente (EC, 2010).

O facto das cidades Europeias terem em geral uma estrutura urbana mais compacta do que as cidades americanas, torna-as claramente mais apelativas ao uso da bicicleta. De facto uma grande porção das viagens na Europa são inferiores a 2.5 km: 44% na Holanda, 37% na Dinamarca e 41% na Alemanha, enquanto que nos EUA correspondem a apenas 27%. Porém, outras razões haverá, uma vez que mesmo nos percursos de 2.5 km, somente 2% são

percorridos de bicicleta nos EUA, face a 37 % na Holanda, 27 % na Dinamarca e 14 % na Alemanha (Pucher e Buehler, 2008).

Outra vantagem da bicicleta como modo de deslocação é o facto de ajudar a combater o problema do sedentarismo, aspecto cada vez mais crítico da sociedade. Segundo WHO (2010) o sedentarismo é actualmente, o quarto maior factor de risco de mortalidade global.

As vantagens do exercício físico regular na saúde são bem conhecidas, e a bicicleta surge aqui como um alternativa “natural” que pode ser facultada aquando das deslocações regulares necessárias. Segundo EC (2000) dois trajectos de 15 minutos diários de bicicleta são suficientes para a manutenção física de uma pessoa, em particular no que respeita a problemas cardíacos. Já, 30 minutos adicionais gastos num automóvel todos os dias, provocam mais 3% de possibilidade de estas serem obesas (Frank et al 2004). Temos pois uma outra faceta do uso da bicicleta em termos económicos: esta contribui para a melhoria da saúde pública levando a uma diminuição dos custos de saúde, em particular os relacionados com inactividade e obesidade, que por exemplo nos EUA representam cerca de 9.4% das despesas de saúde (Frank et al 2004). É de considerar no entanto, que muitas viagens de bicicleta são efectuadas nos mesmos locais que o automóvel e por isso em zonas que podem apresentar elevada poluição atmosférica. A inalação desses poluentes nas viagens pendulares de bicicleta, desfavorecem essa hipótese relativamente ao exercício físico regular em locais adequados. Porém, estas viagens têm de ser feitas e verifica-se, segundo Wijnen et al (1995), que a exposição do ciclista a esses poluentes é inferior à do automobilista, no mesmo percurso. Este facto é apresentado na Figura 2.4.

	Ciclistas $\mu\text{g}/\text{m}^2$	Automobilistas $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Monóxido de Carbono (CO)	2.670	6.730
Dióxido de azoto (NO ₂)	156	277
Benzeno	23	138
Tolueno	72	373
Xileno	46	193

Figura 2.4 – Comparação entre a média de poluentes respirados numa hora por ciclistas e automobilistas, no mesmo trajecto (Fonte: EC, 2000)

Como se verifica, vários são os aspectos onde a bicicleta como modo de deslocação é vantajosa relativamente ao automóvel. Trunk, (2011) fez um estudo onde apresenta os custos internos, externos e totais, de comparação entre o modo ciclável e o automóvel, os quais são apresentados na Figura 2.5. Poderá verificar-se que os únicos critérios onde existe alguma

vantagem no automóvel, são os custos relacionados com tempo e essencialmente com os acidentes.

indicator [€-ct./km]	internal		external		total	
	bicycle	car	bicycle	car	bicycle	car
health	-	-	89.89	-	89.89	-
traffic noise	-	-	-	-1.02	-	-1.02
accidents	-6.29	-1.44	-8.42	-1.85	-14.71	-3.29
vehicle running costs	-10.20	-38.30	-	-	-10.20	-38.30
travel time	-66.53	-54.29	-	-	-66.53	-54.29
pollutants	-	-	-	-0.63	-	-0.63
CO2	-	-	-	-0.85	-	-0.85
total	-83.02	-94.03	81.47	-4.35	-1.55	-98.38
difference bicycle-car	11.01		85.82		96.83	

Figura 2.5 – Comparação entre custos externos e internos gerados pela bicicleta e pelo automóvel em Viena (Fonte: Trunk 2011)

Porém, estes acidentes são mais frequentes em países com pouca percentagem de viagens feitas de bicicleta. Como se verifica na figura 2.6, em geral países com maior fracção de utilizadores da bicicleta têm um menor risco individual de acidente. Isto sugere que uma aposta forte na promoção de medidas de apoio aos ciclistas e consequente aumento da sua percentagem de utilização leva à diminuição do peso do número de acidentes relativamente ao automóvel.

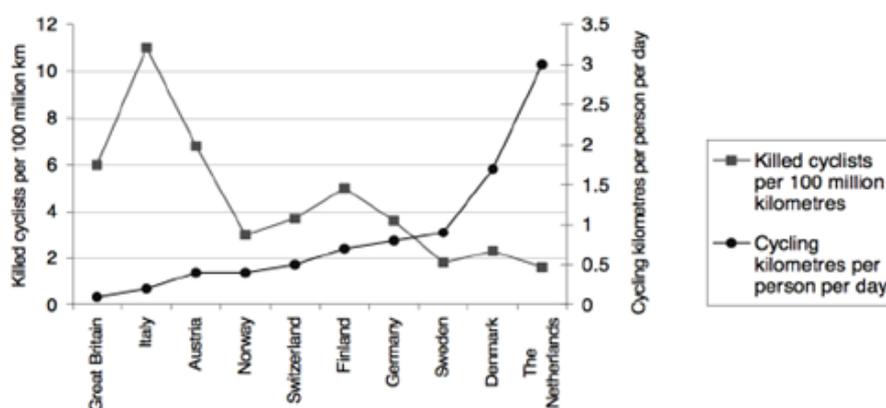


Figura 2.6 – Relação número de mortes com o número médio de quilómetros percorridos por pessoa em vários países (Fonte: OCDE, 2004)

Outro ponto importante na utilização da bicicleta são as vantagens a nível de tráfego obtidas em meio urbano. De facto a bicicleta ocupa muito menos espaço físico que o automóvel e assim, o seu uso em larga escala pode melhorar drasticamente a fluidez de tráfego. Em cidades muito consolidadas, com centros urbanos muito compactos, como é o caso aliás de Coimbra, a utilização da bicicleta pode ajudar a resolver problemas relativos ao congestionamento e estacionamento, que podem levar muitas vezes à desertificação dos centros. Com o uso da bicicleta como modo de deslocação, estes locais podem tornar-se mais acessíveis o que teria forte impacto na sua revitalização. Relativamente a esta matéria existe um indicador correspondente ao rácio entre o número de automóveis e o número de bicicletas para a mesma falta de fluidez de tráfego. Em muitos países (como por exemplo, o Reino Unido e a China) é tomado para esse factor o valor de 0.2 (ou seja, um automóvel equivale a 5 bicicletas para as mesmas condições de congestionamento). Este valor surge em CRITEMEB (1998), citado por Wang et al (2008) que apresenta um estudo mais pormenorizado sobre este assunto.

2.2 Medidas de Promoção do Uso da Bicicleta

A adopção de medidas e políticas de apoio ao ciclista são essenciais na promoção do uso da bicicleta. De seguida são apresentadas algumas medidas genéricas que têm sido amplamente utilizadas em várias cidades da Europa (Pucher e Buehler, 2008).

- Criação de Ciclovias ou Faixas cicláveis
- Medidas de Acalmia de tráfego
- Estacionamentos para bicicletas
- Integração com o transporte colectivo
- Educação
- Eventos promocionais
- Tarifas, de estacionamento, de usos do solo, etc.
- Políticas de uso do solo e de urbanismo

Relativamente à infraestrutura ciclável, existem várias soluções no que toca ao tipo de vias a adoptar. Dependendo essencialmente dos volumes de tráfego e da velocidade de circulação automóvel, estas podem ser de dois tipos: partilhadas ou segregadas. Quando partilhadas, podem ser coexistentes com o tráfego ou terem uma faixa ciclável na via de tráfego. Neste tipo de soluções é essencial garantir a segurança dos ciclistas principalmente em zonas de conflito como cruzamentos. Pucher (1997), define uma série de estratégias utilizadas em vários países, que não só melhoram a segurança dos ciclistas como também lhes dão prioridade relativamente ao automóvel, algumas dessas estratégias são indicadas de seguida:

- Estreitamento de estradas, curvas extra ou rotas em ziguezague como medidas de controlo de velocidade;
- Becos sem saída artificiais, com permissão de atravessamento por parte dos ciclistas;
- Permissão de bicicleta em ambos os sentidos quando apenas um é permitido ao automóvel;
- Restrições de viragem nos cruzamentos apenas para os automóveis;
- Ruas e bairros onde é dado ao ciclista absoluta prioridade de tráfego;
- Linhas de BUS que podem ser utilizadas por ciclistas;
- Linhas especiais antes dos semáforos, onde o ciclista pode parar à frente dos automóveis, podendo o semáforo ficar verde antecipadamente para estes; etc.

Pucher refere também o exemplo de Muenster, cidade média alemã com 270 mil habitantes, caracterizada essencialmente pela sua Universidade, uma das mais importantes do País. Actualmente é a cidade Alemã com maior taxa de utilização de bicicleta, 32%. Para atingir este valor, para além da adopção de algumas das medidas já referidas, foi adoptada uma que o autor destaca: um circuito envolvendo o centro da cidade, exclusivo a bicicletas, que garante circulação a velocidades elevadas e ligação às principais vias cicláveis radiais a este circuito com destino aos principais pontos da cidade. Sabe-se que, por norma, os ciclistas têm preferência de circulação em vias cicláveis segregadas ao automóvel, este facto é por exemplo apresentado em Broach et al (2012) que realizou um estudo em Portland, EUA, com o objectivo de entender melhor as preferências dos ciclistas.

Um aspecto bastante relevante na segurança dos ciclistas, é a velocidade de circulação do automóvel quando estes partilham a mesma via. Velocidades até 30 km/h são consideradas adequadas quando há coexistência deste com a bicicleta. A Figura 2.7, apresenta uma comparação do risco de morte quando a velocidade varia entre 30 e 50 km/h.

Velocidade inicial	Distância de travagem	Velocidade do choque	Risco de morte	O choque equivale a uma queda livre de...
30 km/h	13,5 m	—	—	—
40 km/h	20 m	31 km/h	10%	3,6 m
50 km/h	28 m	50 km/h	80%	10,0 m

Figura 2.7 – Relação velocidade/risco de morte, para um peão ou ciclista que se encontre 15 metros à frente de um veículo (Fonte: EC, 2000)

Este mesmo relatório (EC, 2000) afirma que velocidades até 30 km/h enquadram-se perfeitamente em meio urbano e exemplifica que um pequeno percurso com duração média de

15 minutos à velocidade máxima autorizada de 50 km/h, prolonga-se em média apenas 1 minuto, quando a maioria das ruas tem imposição de velocidade a 30 km/h

Assim, uma mudança relativamente pequena no limite legal da velocidade em meio urbano, pode ter um peso enorme na segurança dos ciclistas e dos peões. Muitas têm sido as cidades da Europa que têm adoptado as designadas “Zonas 30” (zonas limitadas à velocidade de 30 km/h) em várias dos seus bairros e ruas. Em França no ano 2000 já existiam 2000 “zonas 30”; Graz, segunda cidade da Áustria limitou a maioria das suas ruas a 30 km/h com excepção das principais vias arteriais; Zurique, na Suíça, todos os bairros foram reconvertidos a zonas 30; Haia terceira cidade Holandesa, 65% dos arruamentos também são zonas 30 (CERTU, 2004).

Através deste conjunto de vias adaptadas ao uso da bicicleta pretende-se formar uma rede ciclável que garanta o acesso à maioria dos destinos relevantes da cidade, com a maior segurança possível. Em Austroads (2011) e Crow (2007), são apresentadas um conjunto de características fundamentais a que a rede, no global, deve obedecer:

- Segurança – Deve ser minimizado o número de pontos de conflito entre ciclistas e o tráfego motorizado. Os volumes de tráfego e as velocidades representam importantes indicadores do tipo de medidas a adoptar para minimizar os riscos.
- Coerência – A rede deve formar uma entidade coerente, ligando as principais origens e destinos das viagens. Deve ser contínua, minimizando o número de eventuais quebras nas ligações. O ciclista deve perceber facilmente a estrutura da rede.
- Directas – As rotas devem ser directas, com base nas principais origens e destinos. Deve ser minimizada a extensão, evitar desvios e ter velocidades operacionais eficientes.
- Atractividade – Deve ter uma envolvente agradável. Aspectos como iluminação, segurança pessoal, estética entre outros, são importantes.
- Conforto – Superfícies lisas e antiderrapantes, declives suaves, evitar manobras complicadas, minimizar o número de paragens e obstruções.

Agregado a esta rede convém garantir um conjunto de infraestruturas de apoio à mobilidade ciclável, como estacionamento em locais relevantes e vestiários nos principais locais de destino. É de considerar igualmente uma boa integração do modo ciclável com os transportes colectivos, principalmente em percursos de maior distância.

Convém no entanto frisar que a aposta no desenvolvimento de infraestruturas não é o único aspecto a ter em consideração. O investimento em promoção e consciencialização é igualmente necessário.

Pelo gráfico apresentado na Figura 2.8 (ByPad, 2008) verifica-se que inicialmente a percentagem de investimento em infraestruturas é bastante mais elevado do que o investimento em promoção - este facto verifica-se porque primeiro as cidades têm de criar condições à circulação de bicicleta. À medida que essas infraestruturas vão sendo construídas, a percentagem de uso de bicicleta aumenta ligeiramente, e a percentagem de investimento na promoção segue a mesma tendência. Na realidade, após serem construídas as primeiras infraestruturas é necessário promovê-las de modo a motivar as pessoas a transferirem-se do modo automóvel para a bicicleta. Chega no entanto a um ponto em que a adesão à bicicleta é tão elevada, que a necessidade de investimento na promoção deixa de ter tanto peso. A partir daí os próprios ciclistas fazem a sua promoção, pois como existem em grande escala, começam a criar “problemas” à circulação automóvel que dessa forma tem tendência a transferir-se para o modo ciclável. Os próprios ciclistas passam também a pedir mais e melhores infraestruturas.

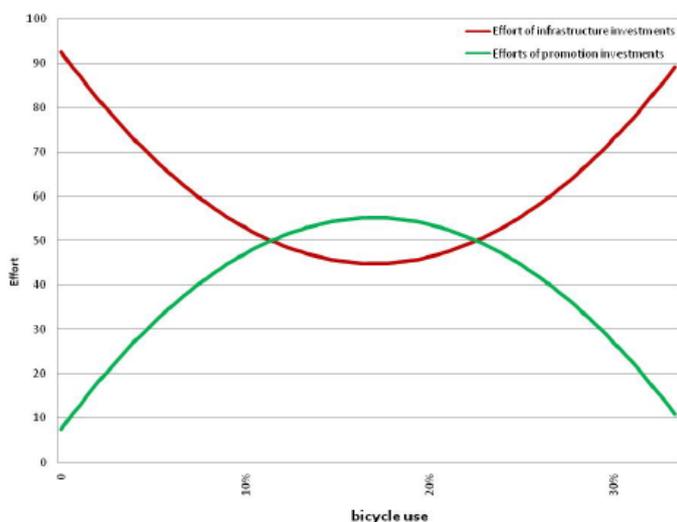


Figura 2.8 – Balanço do investimento em infraestruturas e medidas de promoção
(A verde a curva de investimento na promoção, a vermelho nas infraestruturas.

Fonte: ByPad, 2008)

Há no entanto a referir um conjunto de factores que podem ser limitativos ao uso da bicicleta, tal como refere OCDE (2004):

- Segurança na via
- Segurança pessoal – Roubos ou danos nas bicicletas. Medo de viajar à noite.
- Distância – Expansão Urbana.
- Saúde – Inalação de poluentes emitidos por outros veículos

- Estatuto Social – Viagens de bicicleta podem ser encaradas como actividades para crianças, ou socialmente inadequadas para aqueles que podem adquirir e usar o automóvel.
- Tempo – A chuva bem como temperaturas elevadas ou muito reduzidas, podem funcionar como factores limitativos ao uso da bicicleta. No entanto são alguns os exemplos de cidades onde isto não acontece: por exemplo Oulu na Finlândia, cidade com cerca de 120 mil habitantes situada perto do círculo polar ártico, onde as viagens de bicicleta representam cerca de 25% do total de viagens.
- Topografia – Zonas montanhosas podem desencorajar os ciclistas.

No caso de Coimbra um dos principais factores limitativos é a topografia. Contudo, o facto da população residente na cidade ser muito jovem, devido ao elevado número de estudantes, pode ser um factor bastante positivo e que deve ser sublinhado.

Com efeito, as cidades universitárias são geralmente muito receptivas a este tipo de mobilidade. Como exemplos temos a já referida cidade de Muenster com 34% de deslocações de bicicleta e cidade com maior uso ciclável da Alemanha (Pucher, 1997), Cambridge em Inglaterra, com 27% de deslocações de bicicleta, apesar dos elevados níveis de precipitação existentes (EC, 2000) ou Trondheim, onde 90% dos estudantes usa a bicicleta como principal modo de deslocação, cidade aliás caracterizada por um relevo muito acidentado e que dispõe do primeiro teleférico para bicicletas (“Trampe”). Após a instalação deste sistema de elevação o número de viagens de bicicleta aumentou 150% (Trampe@ 2013).

Para resolução do problema dos desníveis excessivos, existem algumas soluções que se poderão ter em conta no contexto deste trabalho: elevadores, funiculares, rampas e/ou escadas rolantes, canaletas/rampas nas laterais das escadas, ou mesmo o “Trampe” são alguns exemplos. Algumas cidades têm adoptado soluções deste tipo para vencer desníveis desfavoráveis, como o relevo ou até acesso a túneis e metropolitanos. Para lá do caso de Trondheim, algumas cidades em Espanha como San Sebastian, Santander e Vitória-Gasteiz dispõem actualmente de um conjunto de elevadores e rampas rolantes distribuídos pelas cidades que auxiliam tanto peões como ciclistas a superar zonas de maior desnível. Em Madrid e Roterdão, é permitida a utilização de bicicletas nas escadas rolantes do Metro. Nos EUA, a companhia BART realizou um estudo que concluiu que as escadas rolantes são seguras para o uso de bicicleta. Aliás, também em Roterdão, dois túneis em ciclovia atravessam o Rio Nieuwe Mass, sendo os acessos ao exterior feito por escadas rolantes. Em Tóquio e Kyoto, existem canaletas laterais às escadas, automatizadas.

Na Figura 2.9 estão representados alguns dos exemplos descritos.



Figura 2.9 – Algumas soluções adoptadas, em várias cidades do Mundo, para contornar o problema de desníveis elevados

Outra solução possível para vencer os desníveis existentes numa cidade encontra-se na mobilidade a partir de bicicletas electricamente assistidas. No entanto este trabalho focou-se apenas na mobilidade a partir da bicicleta tradicional.

2.3 Aspectos Técnicos

No que se refere à realização deste trabalho é essencial conhecer alguns aspectos referentes ao comportamento dos ciclistas nos vários declives de um percurso.

Um factor muito importante no planeamento de uma rede ciclável é saber até que declives o ciclista médio é capaz de percorrer. Muitos guias de planeamento ciclável são unânimes ao afirmar que declives até 3% são ideais, não devendo estes ultrapassar os 5%. O Centro de Estudos de Arquitetura Paisagista da Universidade Técnica de Lisboa define 4 grupos distintos de declives para avaliar a aptidão do terreno para a mobilidade ciclável: nos declives entre 0-3% o terreno é considerado plano logo excelente para a circulação de bicicleta; nos declives entre 3-5% é considerado terreno pouco declivoso satisfatório para a circulação de bicicleta; entre 5-8% o terreno é declivoso e impróprio para a circulação de bicicletas a média

e longa distância; para 8-10% o terreno é muito declivoso, não adequado à circulação de bicicletas, excepto para troços muito pequenos de ligação (CEAP, Rede Ciclável de Lisboa).

Para declives superiores a 5% muitos destes guias orientam-se pelos comprimentos máximos definidos pelo guia da Associação Americana de Transportes, AASHTO, apresentados no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Comprimentos máximos aceitáveis para declives superiores a 5%
 (Fonte: AASHTO, 1999)

Declive	Comprimento máximo
5-6%	240 m
6-7%	120 m
7-8%	90 m
8-9%	60 m
9-10%	30 m
Acima de 10%	15 m

Outros guias definem comprimentos mais restritivos, mas sendo Coimbra uma cidade com uma orografia complicada foi adoptada a tabela AASHTO.

Outro factor importante na escolha de rotas cicláveis, como já referido, é a forma como a rede se liga às principais zonas da cidade. Para definição dessas rotas é conveniente ter informação relativa às velocidades médias de circulação dos ciclistas consoante os declives, para posteriormente encontrar a rota mais rápida.

Para isso recorreu-se a um estudo elaborado na cidade de Leeds, Inglaterra, que tinha por objectivo determinar as características da velocidade e da aceleração relativamente à inclinação e outros factores de influência. O estudo (Parkin e Rotheram, 2010) incidiu num grupo de ciclistas que diariamente forneceu informações do seu posicionamento através de um dispositivo GPS. Foram estimados dois modelos de regressão linear para a velocidade e aceleração através dos dados obtidos. Os resultados são apresentados na Figura 2.10.

Table 2
 Linear regression model for speed.

Variable	Coefficient	t-statistic
Constant	6.01	64.35
Downhill gradient	-23.79	-6.20
Uphill gradient	-40.02	-9.07
Adjusted R-squared	0.266	

Notes:

- 1 Downhill gradients are negative.
- 2 Speed is in metres per second and acceleration in metres per second squared.

Table 3
 Linear regression model for acceleration.

Variable	Coefficient	t-statistic
Constant	0.231	31.30
Downhill gradient	-2.125	-7.02
Uphill gradient	-1.149	-3.302
Adjusted R-squared	0.146	

Notes:

- 1 Downhill gradients are negative.
- 2 Speed is in metres per second and acceleration in metres per second squared.

Figura 2.10 – Modelos de regressão linear para a velocidade e aceleração
 (FONTE: Parkin e Rotheram, 2010)

A partir das regressões lineares obtidas, para a velocidade nas subidas e nas descidas é em função do declive dada por:

$$V_{up} = 6.01 - 40.02 \times d \quad (1)$$

$$V_{down} = 6.01 - 23.79 \times d \quad (2)$$

Sendo V_{up} (m/s) a velocidade de subida, V_{down} (m/s) a velocidade de descida e d o declive.

O modelo sugere que, no plano, a velocidade média dos ciclistas é de 6,01 m/s (21.6 km/h) e que por cada 1% a descer a velocidade média aumenta 0.2379 m/s, já para cada 1% a subir a velocidade média diminui 0.4002 m/s, o que significa que numa subida a velocidade reduz a uma taxa superior ao aumento da velocidade nas descidas.

Parkin e Rotheram (2010) explicam ainda que em declives de descida íngremes, os ciclistas não são capazes de tirar vantagem de uma energia potencial adicional ganha, pois terão necessidade de travar - o limite de velocidade é atingido e o ciclista não deseja viajar tão rápido quanto a gravidade.

Os resultados também mostram que a média de aceleração no plano é 0.231 m/s² o que implica um tempo de 26 segundos para atingir a velocidade média de cruzeiro de 21.6 km/h. Uma descida de 3% implica uma aceleração de 0.295 m/s² e uma subida de 3% uma aceleração de 0.197 m/s². O tempo para atingir a velocidade média nas descidas é 23 segundos, e nas subidas 24 segundos.

No que diz respeito à energia despendida pelo ciclista, e em velocidade cruzeiro (aceleração = 0), aquela é influenciada por três componentes: o atrito, a gravidade e o ar. A energia total necessária para movimentar uma bicicleta é dada pela soma das energias que superam estas 3 componentes.

$$W = \underbrace{\frac{v}{\eta} \cdot M \cdot g \cdot C_r}_{P_{at}} + \underbrace{\frac{v}{\eta} \cdot M \cdot g \cdot d}_{P_g} + \underbrace{0.5 \cdot \frac{v}{\eta} \cdot A \cdot \rho \cdot C_D \cdot (v + v_w)^2}_{P_{ar}} + \frac{v}{\eta} \cdot M \cdot a \cdot \left(1 + \frac{m_w}{M}\right) \quad (3)$$

W é a potência total (W), P_{at} a potência de atrito (W), P_g a potência relativa à gravidade (W), P_{ar} potencia relativa à resistência do ar (W), v a velocidade da bicicleta (m/s), η a eficiência mecânica da bicicleta, M a massa do ciclista e da bicicleta (kg), g a aceleração da gravidade (m/s²), C_r o coeficiente de resistência ao rolamento, d o declive, a a aceleração da bicicleta (m/s²), m_w a massa efectiva rotacional das rodas e dos pneus (kg), C_D o coeficiente aerodinâmico de arrasto, A a área frontal do ciclista e da bicicleta (m²), ρ a densidade do ar (kg/m³) e v_w velocidade do vento (m/s).

O último termo, relacionado com a aceleração, é nulo no caso de velocidade constante, (em cruzeiro, tende a ser nulo).

Como a potência de resistência do ar é proporcional ao cubo da velocidade, e a de resistência ao atrito é proporcional à velocidade, à medida que a velocidade aumenta a potência de resistência do ar ganha importância relativamente à resistência de atrito.

No caso de declives elevados a resistência do ar e do atrito são reduzidos relativamente à gravidade (Íñiguez, 2012). Para subidas de declives elevados a potencia total está praticamente sujeita apenas à potência gravítica .

Parkin e Rotheram (2010), a partir das velocidades obtidas e usando a expressão (3) apresentaram a tabela que se encontra na Figura 2.11, onde por exemplo consta a potência em função do declive.

Table 4
Cyclists speed, acceleration and power.

Gradient (%)	Mean	Speed	Eighty-fifth		Mean acceleration (m/s ²)	Power at mean speed (W)	Power during acceleration (W)	Time to final speed (s)	Mean Speed with 16 kph tail wind (kph)
	(m/s)	(kph)	percentile (m/s)	Speed (kph)					
-7	7.68	27.6	8.05	29.0	0.380	-251	-32	20.2	
-6	7.44	26.8	7.77	28.0	0.359	-183	-6	20.8	
-5	7.20	25.9	7.49	27.0	0.337	-119	19	21.3	
-4	6.96	25.1	7.22	26.0	0.316	-58	42	22.0	
-3	6.72	24.2	6.94	25.0	0.295	0	64	22.8	
-2	6.49	23.3	6.66	24.0	0.274	54	84	23.7	37.3
-1	6.25	22.5	6.38	23.0	0.252	104	103	24.8	34.5
0	6.01	21.6	6.11	22.0	0.231	151	120	26.0	31.7
1	5.61	20.2	5.75	20.7	0.220	183	133	25.6	28.3
2	5.21	18.8	5.40	19.4	0.208	211	143	25.0	24.9
3	4.81	17.3	5.04	18.2	0.197	232	151	24.5	
4	4.41	15.9	4.69	16.9	0.185	248	155	23.8	
5	4.01	14.4	4.33	15.6	0.174	259	157	23.1	
6	3.61	13.0	3.98	14.3	0.162	263	156	22.3	
7	3.21	11.6	3.63	13.1	0.151	261	151	21.3	

Note, the power calculations assume:

- 1 Air resistance based on a frontal area of 0.616 m², a drag coefficient of 1.2 and a density of air of 1.226 kg/m³.
- 2 Inertia and potential energy changes based on a total mass of ride a bicycle of 95 kg and an effective rotational mass of the wheels of 0.95 kg.
- 3 A rolling resistance coefficient of 0.008 and a mechanical efficiency of the bicycle of 95%.
- 4 No head or tail wind.

Figura 2.11 – Potência, velocidade e aceleração consoante os declives
 (Fonte: Parkin e Rotheram, 2010)

Nos resultados obtidos nesta dissertação não foram consideradas as paragens que o ciclista pode ter ao longo de um percurso, como por exemplo em cruzamentos. Desta forma foi considerada apenas a existência de velocidades cruzeiro ao longo destes percursos. Sendo assim é possível a existência de algumas aproximações nos tempos obtidos (*vide* Secção 4.8), esses erros serão discutidos mais adiante.

3 CONSIDERAÇÕES SOBRE SIG E MODELO USADO

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) representam hoje em dia um importante instrumento de análise, de gestão espacial de objectos georeferenciados e de representação espacial. Estes permitem a recolha, armazenamento, actualização, gestão, análise e exibição de dados espaciais. Para Aronoff (1989), os SIG são um conjunto de procedimentos, manual ou automatizado, utilizados no sentido de armazenamento, e manipulação de informação georreferenciada.

Neste trabalho foi utilizado o *software* de SIG *ArcGIS* (da empresa Americana ESRI), o qual possui, entre outras, duas interfaces essenciais: o *ArcCatalog* que fundamentalmente funciona como catalogador da informação espacial (no fundo, exerce relativamente à informação espacial, função similar à que o programa “*explorer*” tem para a informação no sistema operativo *Windows*) e permite também a introdução/visualização de metadados; o *ArcMap* que é o interface gráfico que permite apresentar a informação na forma de mapas, sendo também o ambiente usualmente invocado para a sua manipulação.

O crescente uso deste tipo de ambientes informáticos em estudos de planeamento, gestão e análise de sistemas de transporte é pois de não estranhar.

A informação espacial é armazenada em SIG em dois formatos essenciais, o formato vectorial e o formato *raster*. No formato vectorial são guardadas essencialmente certas características do objecto que permitem o seu desenho (*rendering*). Fundamentalmente dá indicação de como desenhar o objecto. Por exemplo, no caso de uma linha poligonal é armazenada a informação de que se trata de uma linha e a localização dos seus vértices na ordem correcta. Diga-se a propósito que, no formato vectorial os objectos fundamentais têm representação interna através de sequências de pontos, para além da informação correspondente ao tipo de objecto. No caso de linhas, ao 1º ponto vai corresponder o começo do arco, designado por *from*, o ultimo, fim do arco, designa-se *to*.

O outro formato, designado por *raster*, corresponde essencialmente a imagens. Assim não é guardada a informação de como desenhar o objecto, mas o próprio. De notar que o formato *raster* corresponde na realidade a uma matriz de células (*pixéis*) a cada qual podem corresponder um ou vários valores. Sendo assim, o formato *raster* pode ter uma utilização

diferente da de pura imagem, pois por exemplo os valores correspondentes a cada célula podem ser valores altimétricos. É o caso, aliás, dos *rasters* usados neste trabalho.

Independentemente do tipo de formato, os objectos representados têm informação associada. Essa informação é essencialmente de dois tipos: informação correspondente à geometria do objecto (no caso vectorial) e à sua georreferenciação as quais em geral são geridas pelo próprio sistema; informação correspondente a características do objecto, normalmente numa tabela associada, com atributos que o caracterizam aos olhos do utilizador. Essa informação geralmente é não espacial, estando usualmente ao cuidado do utilizador.

De seguida são apresentados alguns conceitos relevantes à realização deste trabalho.

Geodatabase (GB) – constitui um repositório de informação espacial, usando metodologias de base de dados relacionais. Foi o formato usado neste trabalho.

Feature Class (FC) – É um conjunto de objectos espaciais com três características comuns fundamentais: utilizam o mesmo sistema de georreferenciação, têm a mesma geometria (ponto, linha poligonal ou polígono); possuem a mesma tabela de atributos.

Dataset (DS) – Espécie de involucro de FC, todas elas no mesmo sistema de georreferenciação. Um ponto essencial relativamente ao DS é o de ser um repositório dos elementos constituintes de uma rede no contexto do NA.

3.1 NetworkAnalyst

O *Network Analyst* (NA) é uma extensão do ArcGIS de modelação de redes, a qual permite analisá-las de forma dinâmica e realista e assim obter, por exemplo, melhores rotas entre pontos distribuídos, ponto mais próximo de um local, áreas de influência ou matrizes de custos origem-destino.

Na verdade o NA cria uma rede virtual, a partir da rede existente (rede subjacente), atribuindo a cada arco um certo conjunto de atributos, usualmente criados pelo programador. Estes atributos são fundamentalmente de 3 tipos: “*Cost*” (ou impedâncias), que poderão ser somados ao longo dos caminhos, “*Restrictions*” (ou proibições) que são campos do tipo lógico normalmente usados como indicadores de se o arco orientado é transitável ou não, e “*Descriptors*” que são atributos genéricos os quais podem ou não entrar no cálculo de outros atributos. Todos estes atributos são calculados arco a arco na rede virtual.

Associados aos atributos podem também ser criados parâmetros, os quais podem entrar no cálculo dos atributos. Deste modo, através de parametrização, a rede virtual pode adquirir geometria e características variáveis aquando da execução propriamente dita do NA (*RunTime*). A determinação dos atributos da rede virtual pode também ser feita directamente a partir dos valores de campos das tabelas correspondentes à rede subjacente, sendo esta a forma mais simples de funcionar com o NA pois praticamente não exige programação. Quando utilizado a um nível mais avançado o NA permite o cálculo desses atributos através de scripts embebidos. Esses scripts podem ser escritos em VBA (*Visual Basic for Applications*) ou, mais recentemente, em *Python*. Neste trabalho foi usado VBA.

De salientar que a rede virtual é uma rede orientada, pelo que os atributos são calculados nos dois sentidos do arco. Um arco entre um nó, A, e um nó, B, corresponde na rede virtual a um arco orientado de A para B e a outro de B para A. Assim pode estar restrito de A para B mas transitável de B para A. Um dos pontos-chaves na utilização dos *descriptors* neste trabalho, encontra-se exactamente aqui. As tabelas correspondentes aos arcos da rede subjacente têm para cada arco, 4 campos fundamentais a saber: DeclUpEfectivo, DeclDownEfectivo, LenUpEfectivo, LenDownEfectivo, respectivamente o declive médio das partes a subir (tendo em conta a orientação From-To do arco), o declive médio das partes a descer e também os somatórios dos respectivos comprimentos. O método de cálculo na obtenção destes campos será explicado mais à frente (*vide* Capítulo.4).

Se o ponto A corresponde ao *From* do arco e o ponto B corresponde ao *To* desse arco, na rede virtual podemos criar um “*Descriptor*” DeclUp que assume o valor DeclUpEfectivo do arco subjacente, para o arco virtual orientado de A para B, e o valor DecDownEfectivo do arco subjacente, para o arco virtual orientado de B para A. Algo similar acontece a outros *descriptors* criados como, DeclDown, LenUp, LenDown.

O diálogo de entrada de determinação da forma de cálculo de um atributo é apresentado na Figura 3.1. De verificar que em “*type*” se assinala que se trata de um “*field*” da rede subjacente. Porém poder-se-ia dizer que se tratava de um script VBA, o qual seria escrito numa janela que aparece clicando no botão indicado nessa mesma figura.

A rede subjacente pode encontrar-se distribuída em várias FC, sendo possível no NA indicar de que forma os arcos de umas FC se conectam com arcos de outras FC. Em geral só pode haver conexão entre dois arcos se estes tiverem dois vértices sobrepostos, a menos de uma pequena distância de erro. Usualmente são usadas FC de pontos para “vincar” essas conexões, impedindo conexões parasitas. Esses pontos tornam-se nós da rede virtual.

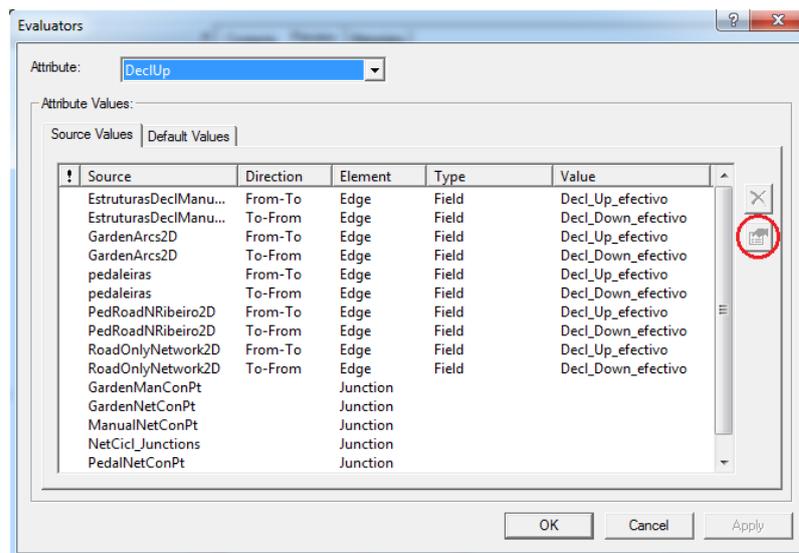


Figura 3.1 – Janela do NA onde se define um atributo da rede virtual

Depois de feita a programação ao nível do NA, no programa *Catalog* do ArcGIS, passa-se às execuções do modelo, usualmente feitas no contexto do ArcMap. No que interessa a este trabalho existem 4 tipos de análises de rede que podem ser feitas: áreas de influência, rotas (caminho mais curto, que passa por vários pontos), matrizes origem destino (O/D), e ponto mais próximo.

No primeiro caso é fornecido um conjunto de pontos e uma sequência de valores de um custo. O NA determina para cada ponto fornecido um conjunto de polígonos correspondentes aos intervalos de custos gerados pela sequência, medidos na rede. Se porventura para algum intervalo não houver caminho na rede com um custo nesse intervalo, o respectivo polígono é vazio. Por outro lado se a partir de um ponto não for possível (devido a proibições de arcos na rede), atingir o custo definido, então surgirá um polígono mais pequeno, com fronteira até onde se puder ir na rede. Convém referir que existem polígonos para dois sentidos de percurso: *Towards Facilities*, *Away From Facilities*, ou seja, no sentido dos pontos ou a partir dos pontos. Como a rede é percorrida ao longo dos arcos, à priori, não faz sentido falar em polígonos mas em árvores. Porém é fornecida uma distância correspondente a um *buffer* (área envolvendo o arco) ao longo dos ramos desses arcos, sendo o polígono resultante, a área de influência correspondente à união desses *buffers*.

No caso do caminho mais curto é dado um conjunto de pontos e o NA fornece o percurso de custo mínimo que percorre esses pontos (pode ser forçada ou não, a ordem de percurso).

No caso das matrizes OD são dados dois conjuntos de pontos (origens/destinos) e o resultado é uma matriz com os custos de percursos mínimos entre cada ponto de cada conjunto.

No último caso, são dados dois conjuntos de pontos, “*Facilities*” e “*Incidents*” e o NA encontra para cada “*Incident*” as “*Facilities*” mais próximas, tendo que se especificar o número de “*Facilities*” a encontrar.

Em todos os casos e aquando da execução do modelo, é eleito um custo que será minimizado. Os outros custos podem ser ou não somados, acumulados.

3.2 Modelo SIG

Na rede subjacente os arcos foram classificados em várias categorias de acordo com o declive e a tabela AASHTO. Esta classificação, n , pode assumir valores inteiros entre 3 e 11, ou os valores 20, 30 e 100. Para arcos com declive entre 0% e 11% o valor, D , é dado por:

$$D = \max\{\text{DeclUpEfectivo}, \text{DeclDownEfectivo}\}$$

Assim um arco é do tipo n se $n-1 < D \leq n$, para $D \leq 11\%$. Caso $D > 11$ então é do tipo 100. Os elevadores e a linha do metro não estão dependentes do declive, e assumem o valor tipo 20 e 30 respectivamente.

Temos então que os arcos de tipo 5 ou de classe inferior são totalmente cicláveis, podendo ser percorridos de bicicleta nos dois sentidos; os arcos de tipos 6 até 11 são total ou parcialmente cicláveis consoante o seu comprimento (ver tabela AASHTO), e os arcos de tipo 100 são não cicláveis. Esta classificação ao nível do NA levanta um problema relacionado com cadeias de arcos (entende-se por cadeia de arcos, um conjunto de arcos sucessivos): por exemplo 3 arcos em cadeia a subir de 240 metros e categoria 6 surgem como totalmente cicláveis quando na realidade trata-se no conjunto de uma rampa de 720 metros da qual só são cicláveis 240 metros, tendo o resto de ser percorrido a pé. Será mostrado como foi contornado esse problema no caso de estudo (*vide* Capítulo 4).

A partir da modelação da rede virtual, cada arco orientado pode aparecer como totalmente ciclável, parte ciclável e parte pedonal, totalmente pedonal, ou funcionar como um dispositivo mecânico auxiliar (daqui em diante designado simplificada por elevador), sendo que um arco pode ser ciclável num sentido e não ciclável no outro. Estas hipóteses são calibradas através de parâmetros que podem ser alterados aquando da execução do NA. Os parâmetros utilizados encontram-se descritos no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Parâmetros do modelo

Parametro	Descrição
DeclDownMaxCicl	Declive de descida máximo de bicicleta
DeclDownMaxPed	Declive de descida máximo a pé
DeclUpMinPedal	Declive mínimo a subir, a partir do qual, o arco só é transitável se for um elevador
DeclUpMax	Declive de subida máximo
LenMaxPe	Comprimento máximo a percorrer a pé por arco, tendo em conta a tabela AASHTO
CoefCicl	Coefficiente de penalização da velocidade pedonal por se transportar a bicicleta à mão
FactorCircuito	Coefficiente por utilização de um circuito ciclável
Alfa	Pesos a dar ao percurso de bicicleta, a pé e de elevador respectivamente, numa soma ponderada (função custo)
Beta	
Gama	

Para reprodução destas hipóteses na rede pelo NA, criou-se um conjunto de atributos que são referidos sucintamente no Quadro 3.2. Alguns destes atributos já foram referidos, tendo sido directamente retirados da tabela de atributos da rede subjacente. Outros, foi necessário recorrer à utilização de Scripts VBA, com auxílio dos parâmetros já citados, e tendo também em consideração a tabela AASHTO e/ou a regressão de Parkin e Rotheram (2010).

Quadro 3.2 – Atributos do modelo

Atributo	Descrição	Uso	Unidades	Tipo
DeclUp	Declive a subir	Descriptor	%	Field
DeclDown	Declive a descer	Descriptor	%	Field
LenUp	Comprimento a subir	Descriptor	m	Field
LenDown	Comprimento a descer	Descriptor	m	Field
LenCiclUp	Comprimento de bicicleta a subir	Descriptor	m	VBA
LenCiclDown	Comprimento de bicicleta a descer	Descriptor	m	VBA
Len0	Comprimento em plano, ciclável	Descriptor	m	VBA
LenCicl	Comprimento total de bicicleta	Cost	m	VBA
LenPedUp	Comprimento a pé a subir	Descriptor	m	VBA
LenPedDown	Comprimento a pé a descer	Descriptor	m	VBA
LenPed	Comprimento total a pé	Cost	m	VBA
LenPedal	Comprimento subir por mecanismo	Cost	m	VBA
VelCiclUp	Velocidade ciclável a subir	Descriptor	m/s	VBA
VelCiclDown	Velocidade ciclável a descer	Descriptor	m/s	VBA
VelPedUp	Velocidade pedonal a subir	Descriptor	m/s	VBA
VelPedDown	Velocidade pedonal a descer	Descriptor	m/s	VBA
VelPedal	Velocidade do mecanismo	Descriptor	m/s	VBA
EnergiaUp	Energia gasta a subir	Descriptor	joules	VBA
EnergiaDown	Energia gasta a descer	Descriptor	joules	VBA
Energia	Energia total gasta	Cost	joules	VBA
LenCiclEq	Comprimento de bicicleta equivalente	Cost	m	VBA
LenPedEq	Comprimento a pé equivalente	Cost	m	VBA
LenPedalEq	Comprimento de elevador equivalente	Cost	m	VBA
Tempo	Tempo de percurso	Cost	seg	VBA
RestField	Campo de restrição da tabela	Restriction	-	Field
RestrictedUp	Restrições a subir	Restriction	-	VBA
RestrictedDown	Restrições a descer	Restriction	-	VBA
Custo	Função de desutilidade	Cost	-	VBA

Os comprimentos por modo de deslocação foram calculados tendo por referência a tabela AASHTO e os parâmetros DeclDownMaxCicl, DeclDownMaxPed, DeclUpMinPedal, DeclUpMax e LenMaxPe.

As velocidades cicláveis estão de acordo com as expressões (1, 2). Para a velocidade pedonal, em função do declive (d), e para $d \in [0; 0.45]$, foi usado (Coutinho-Rodrigues et al, 2012) um polinómio de grau 3, obtido, por “curve fit”, a partir do ábaco “Effect of Grade on Distance Walked”, presente em TRB (2003). A expressão usada foi:

$$v = \begin{cases} 83.77 - 117.93 \times d - 711.38 \times d^2 + 1490.19 \times d^3, & \text{se } d \in [0; 0.45] \\ 22.44, & \text{se } d > 0.45 \end{cases} \quad (4)$$

Esta velocidade é posteriormente sujeita a um factor de penalização (parâmetro CoefCicl), pois a deslocação é feita com a bicicleta à mão. Para a velocidade nos elevadores (parâmetro VelPedal) foi usado o valor de 0.5 m/s, aproximadamente a velocidade média de uma escada rolante. Usou-se pois um valor por defeito, visto existir elevadores com velocidades bem mais elevadas (por exemplo, “Trampe”).

A Energia é retirada da expressão (3). Esta energia apenas é calculada para percursos totalmente cicláveis.

Os comprimentos equivalentes foram retirados pela seguinte expressão, que relaciona a velocidade ciclável no plano com a velocidade existente no arco.

$$LenEq_k = \sum_j \frac{v_0}{v_{jk}} \times L_{jk}, \forall k \quad (5)$$

Sendo que j indica se a deslocação nesse sentido de arco é feita a subir, descer ou em plano e k representa o modo de deslocação (bicicleta, a pé ou elevador).

O tempo de percurso de cada arco é dado pela seguinte expressão.

$$Tempo = \sum_k \frac{LenEq_k}{v_0} \quad (6)$$

Um dos atributos, designado por custo, está relacionado com uma abordagem multidimensional do problema, esse atributo corresponde a uma soma ponderada de várias modos de deslocação e é dado pela seguinte expressão:

$$Custo = \frac{\alpha \times LenCiclEq + \beta \times LenPedEq + \gamma \times LenPedalEq}{\alpha + \beta + \gamma} \quad (6)$$

Esta função custo serve para avaliar situações onde estão permitidos todos os modos de deslocação considerados. Nessa situação, não faz muito sentido, dar o mesmo peso à deslocação pedonal ou à hipótese de aparecimento de elevadores, relativamente à deslocação por bicicleta. Mesmo dando soluções com melhores tempos utilizando um desses dois modos, estas soluções só devem ser encaradas em situações essenciais onde as hipóteses unicamente de bicicleta são escassas e pouco competitivas, ou nenhuma. De notar que tratando-se de um custo, quanto menor for o peso dado a um componente, maior tenderá a ser a parte do percurso percorrida segundo o correspondente modo.

Apesar de nos resultado apresentados ao longo da dissertação esta função não ser utilizada, ela foi muito útil na pesquisa e localização de soluções alternativas para possíveis elevadores. Quando considerada a hipótese pedonal os resultados obtidos não foram muito viáveis devido ao já referido problema de cadeias de arcos. Na realidade o NA considera cada arco isoladamente e, mesmo limitando o parâmetro de comprimento máximo a pé para cada arco, a solução encontrada pode conter vários arcos sucessivos que perfazem um total superior ao comprimento máximo permitido. Desta forma, não são apresentados resultados que permitam simultaneamente a circulação de bicicleta e a pé, mesmo estando o modelo programado para esse efeito.

4 CASO DE ESTUDO – COIMBRA

4.1 Determinação dos Declives e Tratamento da Rede

No cálculo dos declives foi utilizado um modelo digital de superfície (DSM), com precisão de 1m x 1m e uma extensão de 6km x 6km. Este DSM trata-se de um *raster* onde o valor de cada célula corresponde à altimetria atribuída a essa célula, evidenciando por outro lado a superfície existente, incluindo ruas, edifícios, vegetação, etc.

Fora da zona coberta pelo DSM foi utilizado um modelo digital de terreno DTM de menor resolução 5m x 5m. Como este modelo é referente ao terreno propriamente dito a sua precisão é inferior, não incluindo a intervenção humana no terreno. Este DTM foi usado essencialmente para estimar declives na zona sul da cidade perto do rio, Pólo II da Universidade de Coimbra, Pinhal de Marrocos e Portela, pois não eram abrangidos pela área do DSM. Na Figura 4.1 pode verificar-se que no DSM os contornos do edificado e das ruas são visíveis, tais contornos não existem no DTM.



Figura 4.1 – Aspectos apresentados por um DTM e por um DSM

4.1.1 Cálculo dos Declives

Para calcular os declives de cada arco da rede, foi utilizado um script fornecido que recorre a ferramentas existentes no *ArcGIS* e analisa cada linha existente na rede no sentido de calcular os declives a subir (*Up*) e a descer (*Down*), tendo em conta a sua orientação (*From – To*) (vide Capítulo 3).

Para o cálculo de declives de um arco, o script considera uma sequência de pontos que pode ser fundamentalmente de 3 tipos:

- Pontos nos vértices do próprio arco
- Pontos virtuais à distância equivalente do tamanho da célula do *raster*, 1 metro para o caso do DSM
- Pontos distanciados entre si a um valor fornecido pelo utilizador

Nos segmentos entre os pontos, a altimetria é calculada por interpolação bilinear.

Após executar o programa, aparecem na tabela de atributos de cada arco, vários campos novos com alguns resultados. Os mais importantes para o estudo são o declive médio no sentido ascendente (DeclMedUp) e o declive médio no sentido descendente (DeclMedDown). Estes declives são calculados de acordo com uma média ponderada de todos os segmentos ascendentes e de todos os segmentos descendentes. Juntamente com essas médias são também fornecidas as somas dos comprimentos dos segmentos a subir (LenUp) e a soma dos comprimentos dos segmentos a descer (LenDown).

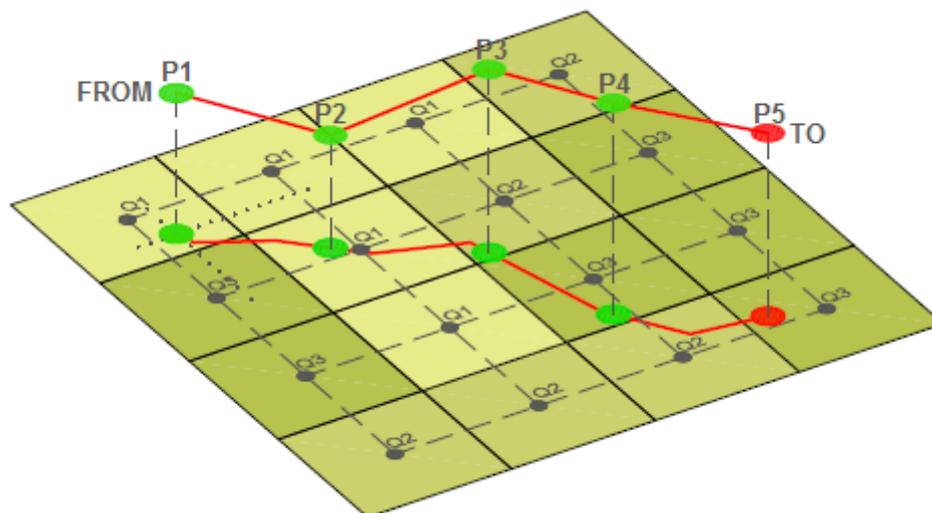


Figura 4.2 – Cálculo dos declives

Como se pode verificar na Figura 4.2 esquematizada, o ArcGIS calcula as cotas dos pontos criados, por interpolação bilinear, e de seguida calcula os declives de ponto para ponto. Do ponto P1 para P2, o declive é considerado descendente logo entra na média ponderada do declive descendente (DeclMedDown), de P2 para P3 é considerado ascendente e entra na média ponderada do declive ascendente (DeclMedUp). O procedimento é semelhante para os comprimentos (LenUp e LenDown).

De notar que a soma de LenUp com LenDown pode ser diferente do comprimento do arco em virtude da existência de eventuais partes horizontais. O comprimento total dessas partes pode ser calculado por subtração ao comprimento total do arco.

Na Figura 4.3, apresenta-se parte da tabela de atributos da rede subjacente com a informação obtida no cálculo dos declives.

OBJECTID *	DeclMedUp	DeclMedDown	Len_Up	Len_Down	...
1	0	0.150843	0	81.655882	
2	0.051847	0.034571	126.657125	118.159581	
3	0.01468	0.085624	5.000539	85.116528	
4	0	0.041258	0	77.465921	
5	0.115867	0	133.398726	0	
6	0	0.164602	0	115.496563	
7	0	0.077808	0	95.359703	
8	0	0.146374	0	50.697993	

Figura 4.3 – Alguns campos pertinentes das tabelas de atributos relativas à rede subjacente

4.1.2 Tratamento da Rede em SIG

Devido a um conjunto de operações efectuadas no DSM antes do início do estudo, como por exemplo mudança do sistema de coordenadas, foi necessário fazer um tratamento da rede existente, pois esta não estava devidamente ajustada ao DSM. Por exemplo, Alguns arcos da rede apareciam sobrepostos a edifícios ou árvores, o que originava grandes erros no cálculo dos declives.

Como o cálculo dos declives era de primordial importância para o desenvolvimento desta dissertação, tornava-se absolutamente pertinente efectuar uma correcção conveniente de todos os dados relativos à rede em estudo. Assim, a primeira fase do trabalho no âmbito do SIG consistiu na verificação e correcção de todos os dados a utilizar, o que se revelou uma tarefa com um custo significativo em tempo. Alguns detalhes dessa fase do trabalho, realizado no âmbito do ambiente SIG e aproveitando algumas das suas funcionalidades, são descritos de seguida.

Como a rede de Coimbra considerada é composta por um grande número de arcos, mais de 6600 no total, era impossível analisar todos eles em tempo útil. Assim foram feitas várias triagens ao longo do tratamento.

Numa fase inicial foi feita uma análise puramente visual tendo em conta o DSM e corrigindo alguns arcos importantes principalmente localizados em zonas de cruzamentos e praças.

Numa 2ª fase após o cálculo dos declives à resolução do *raster* (pontos distanciados de 1 metro), foram analisados apenas os arcos que davam declives muito exagerados. Cerca de 520 arcos. Durante esta análise os arcos da rede foram sendo classificados através do preenchimento de um campo código da tabela de atributos, referindo um dos aspectos enumerados de seguida:

1. Com o valor 1, eram colocados todos os arcos deslocados por estarem mal posicionados relativamente ao DSM.
2. Com o valor 2, eram classificados os arcos que passavam por baixo de viadutos ou casas pois nestas situações o programa admite que o arco passa sobre estes.
3. Com o valor 3, arcos existentes na rede mas que não eram perceptíveis no DSM, possivelmente por serem posteriores ao DSM, podendo estes já estarem construídos ou ainda em plano.
4. Com o valor 4, troços pertencentes a parques e jardins, que devido à grande densidade de vegetação não davam valores aceitáveis para os declives.
5. Com o valor 5, troços que tinham razões aceitáveis para ter declives elevados

Acontece que dada a resolução elevada do DSM e por se estar a calcular médias de declives de metro a metro, existe a tendência do perfil da linha ser muito irregular dando valores elevados para estas médias. Por exemplo bastava existir um erro de 10 cm de altura de um ponto para o outro, para num troço de 1 metro se ter um declive de 10%. Se este erro fosse ocorrendo várias vezes ao longo do troço, então teríamos um declive muito irregular, com muitas subidas e descidas de 1 metro e inclinações elevadas, que levariam a dois declives médios (Up e Down) também eles elevados.

Passou-se então à fase seguinte da análise de tratamento dos arcos que consistiu essencialmente na determinação dos declives por vários métodos mais adequados à finalidade pretendida, e na sua confrontação. Os métodos utilizados foram os seguintes: pontos distanciados de 1 metro (como na análise anterior); pontos distanciados de 45 metros; pontos nos vértices.

Cada tipo de análise pode ter as suas limitações:

- a análise de 1 metro é demasiado precisa, podendo existir os erros de elevada precisão que já foram referidos;

- a dos 45 metros tem o problema de poder existir nesses 45 metros, pequenos troços descendentes e ascendentes que não serão considerados;
- a análise dos vértices está dependente da localização dos vértices, sendo que no caso de um recta pode existir apenas dois vértices e estes estarem muito distanciados entre si, ou no caso de uma curva conter muitos vértices ocorrendo o já referido problema de elevada precisão.

Seguidamente efectuou-se uma triagem onde foram retirados todos os troços que davam declives reduzidos na análise dos pontos distanciados de metro a metro, pois admitiu-se que se o valor do declive é reduzido nesta análise com precisão elevada, então esse troço terá verdadeiramente um declive reduzido.

De seguida analisaram-se apenas os arcos com diferenças mais significativas entre as várias análises referidas. Em princípio se o valor do declive for muito diferente nas 3 análises, então o declive tem forte possibilidade de ter erros.

Este procedimento resolveu alguns dos problemas de arcos da rede que apareciam sobrepostos a casas, viadutos ou árvores, pois a probabilidade dos pontos considerados se encontrarem sobre um desses locais reduziu relativamente à análise onde só se considerava pontos de metro a metro.

Após várias pequenas modificações nos troços da rede e calculando repetidamente os seus declives, a rede foi-se apurando. Uma análise posterior, calculou os declives através de pontos distanciados de 10 metros, permitindo verificar boa qualidade nos declives calculados. Os declives finais foram designados de declives efectivos (DeclUpEfectivo e DeclDownEfectivo) e para cada arco foi considerado o menor valor das análises a 45 m e aos vértices. Exceptuaram-se os casos onde estivesse marcado num campo da tabela de atributos, um código que impunha para o declive o valor calculado pela análise dos vértices, pois neste tipo de análise pode-se escolher o local onde colocar os vértices.

Ao considerar-se estes declives efectivos como valores médios para todo o arco, está-se a desprezar oscilações ao longo do mesmo. Porém como os arcos da rede estão cortados aos nós, o seu comprimento é geralmente pequeno, pelo que têm forte tendência à constância no declive. Cerca de 75% dos arcos têm comprimento inferior a 100 metros e 99% comprimentos inferiores a 500 metros.

Já na fase de estudo ao nível do NA (conforme exposto adiante), ainda foram efectuadas algumas correcções de arcos.

Por último convém referir que todas as correcções foram feitas de forma a manter íntegra a conectividade da rede subjacente. Ao todo foram tratados cerca de 2500 arcos ou seja 38 % da rede. No início do tratamento cerca de 39 % dos arcos da rede já se encontravam com declives inferiores a 5% pela análise mais rigorosa a 1 metro, tendo estes sido assumidos imediatamente como efectivos.

Na Figura 4.4 encontra-se a rede com indicação dos arcos com aptidão ciclável, no que diz respeito aos declives.

Numa primeira observação da Figura 4.4 apresentada, facilmente se identificam zonas cicláveis da cidade, como por exemplo as zonas da Solum, Bairro Norton de Matos, Vale das Flores, e toda a zona ao longo do rio. Trata-se de zonas em que no mapa predominam arcos a verde.

No Anexo deste trabalho encontra-se uma carta de Coimbra com toponímia relevante para facilitar a identificação da localização das zonas/ruas de coimbra mais referidas no trabalho.

Outras zonas da cidade existem com arcos cicláveis, mas numa primeira abordagem não é perceptível se esses arcos conseguem fazer ligação entre zonas importantes.

Porém desta análise pode-se retirar alguns valores. De um total de aproximadamente 550 km considerados, cerca de 200 km dos troços têm declive inferior a 3%, ou seja 36.5% da rede. Se considerarmos toda a rede que é satisfatória para a circulação em bicicleta, até aos 5%, então aproximadamente 53% da rede é totalmente ciclável. A estatística anterior engloba porém arcos isolados. Por outro lado também não se estão a considerar nesta soma os cerca de 12% de arcos com declives superiores 5% mas cicláveis de acordo com tabela AASHTO, a menos do problema já referido de cadeia de arcos.

Nos restantes arcos, que perfazem 35% da rede, não há possibilidade de circular de bicicleta, pelo menos na totalidade do arco, e/ou pelo menos num dos sentidos.

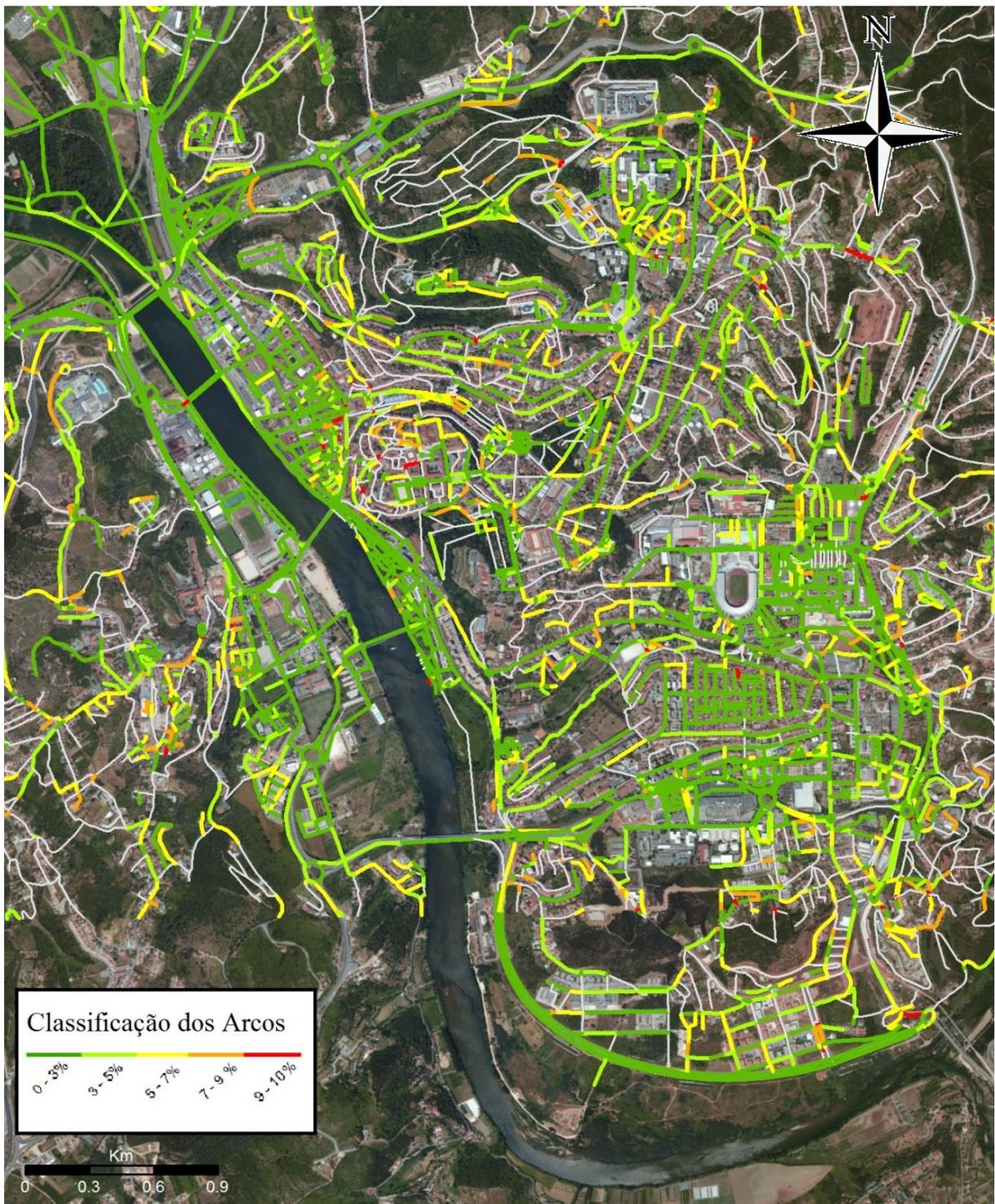


Figura 4.4 – Aptidão ciclável (Declives) na malha urbana da Cidade de Coimbra segundo a tabela da AAHSTO (a branco encontram-se os arcos não cicláveis)

4.1.3 Composição da Rede Subjacente

A rede subjacente inicial é constituída por 4 FC: a 1ª compreende a maior parte dos arcos com aptidão pedonal e motorizada; a 2ª compreende os arcos interiores a zonas verdes (jardins, parques, etc.); a 3ª compreende arcos onde não é permitida a circulação pedonal, o que corresponde à circular externa juntamente com mais algumas vias; a 4ª corresponde a arcos em que foi atribuído manualmente o declive, como é o caso de túneis, escadas (45%), viadutos pedonais, entre outros.

Há também a considerar duas outras FC criadas ao longo do trabalho, uma reservada a possíveis dispositivos mecânicos e outra correspondente à planeada linha do metro. No que respeito ao circuito ciclável de que se falará mais adiante, os seus arcos encontram-se distribuídos por várias FC, havendo um campo que os identifica como pertencentes ao circuito.

Para conexão entre as várias FC de arcos no NA, foram criadas FC de pontos, que dão indicação de onde é permitida a ligação entre os arcos de diferentes FC.

4.2 Permeabilidade da Rede

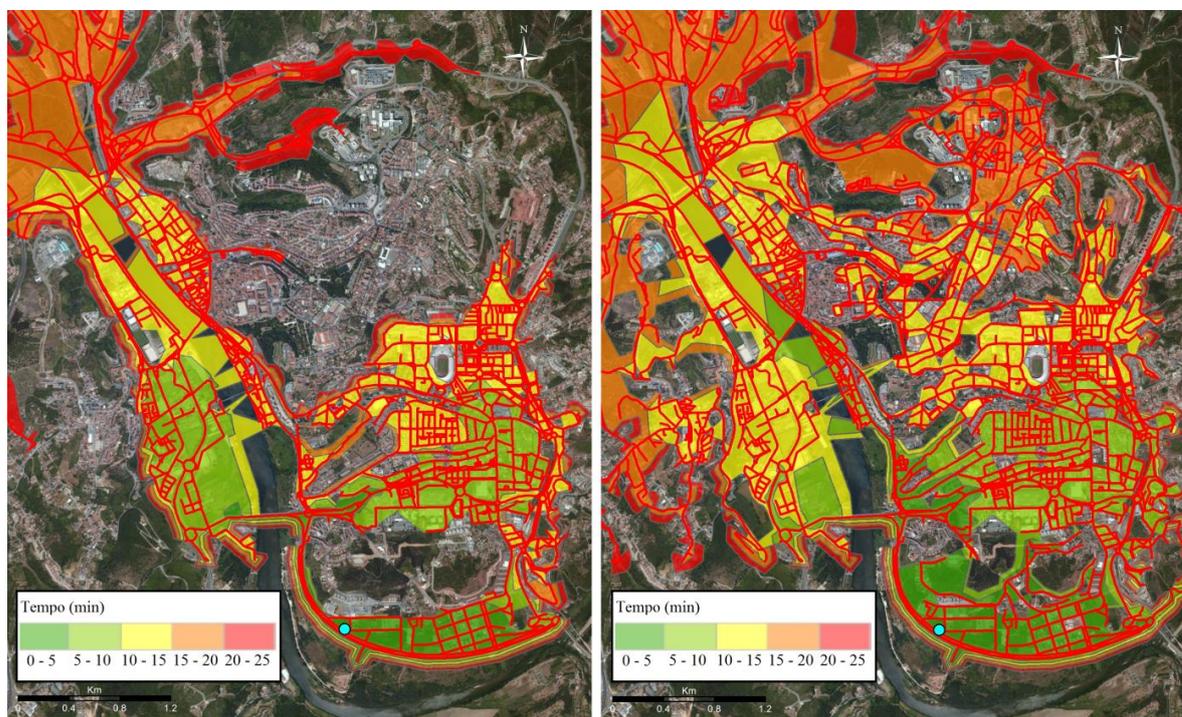


Figura 4.5 – Permeabilidade da rede relativamente a deslocação em bicicleta com origem e destino no Pólo II da Universidade de Coimbra (Mapa esquerdo *Away*, Mapa direito *Towards*).

Para a análise da permeabilidade ciclável da rede recorreu-se à técnica das áreas de influência (*vide* Capítulo 3). De facto estas áreas dão as zonas da cidade a partir das quais se pode ir de bicicleta para um determinado ponto, ou a partir desse ponto. Tal é exemplificado nas duas cartas da Figura 4.5 correspondente às áreas de influência temporais (tempo como custo a minimizar) da zona do Pólo II da Universidade de Coimbra, com ponto localizado próximo da circular externa: na figura da esquerda são representadas as áreas de influência para origem da viagem no Pólo II; na da direita o Pólo II é considerado o destino das viagens.

Nestas áreas de influência apenas se estão a considerar deslocções de bicicleta, com a permissão de subidas de acordo com as distâncias da tabela AASHTO e descidas até 11% para qualquer distância ($\text{DeclDownMaxCicl} = \text{DeclDownMaxPed} = \text{DeclUpMinPedal} = \text{DeclUpMax} = 11\%$; $\text{LenMaxPé} = 0$, ver Quadro 3.1).

Como o ponto do Pólo II considerado fica localizado numa zona de cota baixa, é evidente que a área de influência para viagens com destino no Pólo II é muito maior que a área de influência para viagens no sentido contrário.

Contudo este tipo de análise levanta o já referido problema de cadeias de arcos, podendo não dar resultados completamente verdadeiros.

Para contornar este problema procedeu-se a uma análise, também baseada em áreas de influência mas um pouco diferente. Em primeiro lugar considerou-se um certo número de pontos representativos da cidade normalmente localizados em zonas de “planalto”. A cada ponto corresponde uma zona mais ou menos plana, portanto plenamente ciclável. Esses pontos são os centros representados na Figura 4.6. Convém referir que este estudo incidiu essencialmente na zona interior à circular da cidade (zona delimitada em Anexo).

Seguidamente parametrizou-se o NA de modo a impedir arcos de declive superior a 5% (5.1% por margem de erro) de serem utilizados. Para isso colocou-se acima desse valor, o limiar de elevador e o declive a subir máximo ($\text{DeclUpMinPedal} = 5.1\%$, $\text{DeclUpMax} = 5.1\%$) bem como o declive máximo nas descidas ($\text{DeclDownMaxCicl} = 5.1\%$, $\text{DeclDownMaxPed} = 5.1\%$, ver Quadro 3.1). Isto implica que todos os arcos fora destas condições ficam proibidos. Por outro lado, e à partida, sabe-se que todos os arcos nessas situações são cicláveis em ambos os sentidos. A partir daqui e obtendo as zonas de influência para todos os pontos, ficou-se a conhecer zonas da cidade que são totalmente cicláveis em ambos os sentidos. Neste caso essas áreas obtidas representam zonas mínimas, pois não se estão a considerar os arcos de ligação da tabela AASHTO (com inclinação superior a 5%) onde ainda se pode viajar de bicicleta. Neste tipo de abordagem não há necessidade de fazer as áreas de influência para cada sentido

(*Away e Towards*), pois está-se a obrigar o NA a utilizar apenas arcos cicláveis nos dois sentidos, o que implicará áreas iguais. Desta forma obteve-se a Figura 4.6.

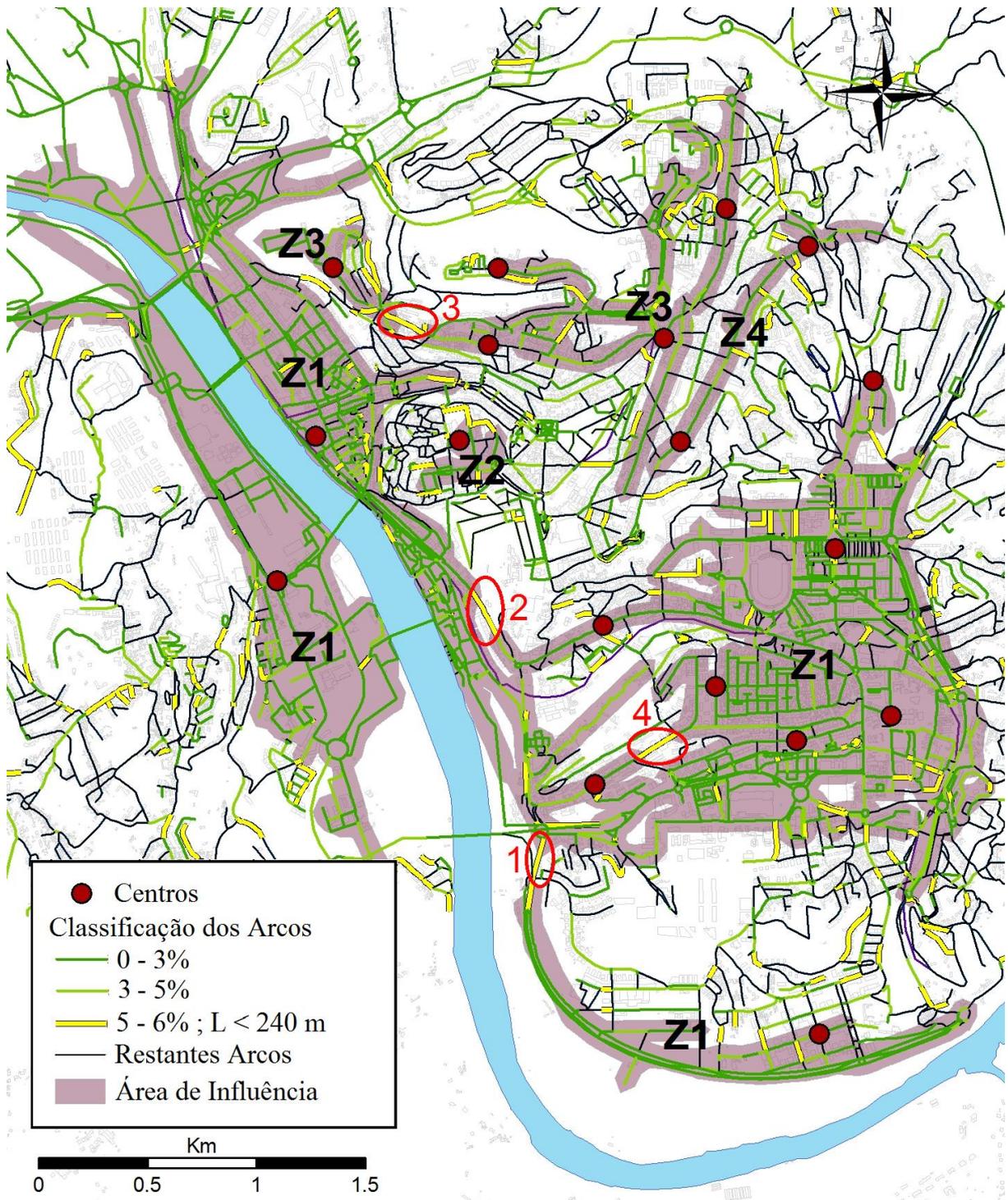


Figura 4.6 – Permeabilidade geral da rede - em evidência desconexões fundamentais

Para esta e futuras análises foram restringidos alguns arcos que devido à sua natureza não serão propriamente adequados para mobilidade ciclável. Como exemplos temos a Ponte Rainha Santa Isabel (também conhecida por Ponte Europa), Ponte Pedro e Inês, e algumas vias rápidas. Esta restrição foi feita ao nível das tabelas da rede subjacente.

Na Figura 4.6 estão também representadas para além das áreas de influência, as ligações de categoria 6 a amarelo, ou seja, arcos com declive entre 5 e 6% e comprimento inferior a 240 metros. Alguns destes arcos devido à sua relevância na ligação entre zonas, serão potenciais candidatos a melhorias ao nível infraestrutural. É o caso dos arcos assinalados na figura, com os números 1, 2, 3 e 4, caracterizados mais adiante.

Poderá verificar-se a partir das áreas de influência e de algumas ligações de categoria 6, que existe uma vasta área da cidade, que compreende as zonas da Solum, Bairro Norton Matos, Vale das Flores e toda a zona à beira rio, que pode ser percorrida na sua maioria de bicicleta. Porém, na zona alta da cidade é perceptível a existência de 3 regiões desconexas.

Convém notar que foram usadas áreas de influência a 2000 m. Portanto, cada uma destas zonas está cercada por arcos que são intransitáveis, caso contrário a área abrangida seria maior para perfazer essa distância total. O interesse desta distância é identificar que não há qualquer possibilidade de ligar estas 4 zonas, revelando imediatamente que nessas 4 desconexões só se poderá circular em ambos os sentidos desde que existam elevadores que auxiliem nas subidas.

As 4 zonas desconexas encontradas foram: Zona 1 (Z1) – Zona baixa da cidade; Zona 2 (Z2) – Zona da Alta Universitária; Zona 3 (Z3) – Zona de Celas e Conchada; Zona 4 (Z4) – Zona correspondente à crista da Av. Dias da Silva.

Vale a pena referir os troços a amarelo, 1,2,3 e 4, indicados na Figura 4.6 e que são essenciais na conexão entre certas zonas. Todos estes arcos, para além de respeitarem a tabela AASHTO, não se encontram em cadeia.

O troço 1, com declive aproximado de 5.2% e comprimento 190 metros, é um arco essencial de ligação de toda a zona à beira rio, à zona do Pólo II e Portela. O troço 2, com declive aproximado de 5.2% e comprimento 236 metros, é também ele essencial na ligação de toda a zona da Solum, Bairro Norton de Matos e Vale das Flores à zona à beira rio. Convém notar que será talvez de maior complexidade em termos do já referido tratamento porque é um troço em cadeia de arcos, muito extenso, com um arco de categoria 5, com declive médio de 4.7% e comprimento de 136 metros e o já referido arco de categoria 6. Porém no contexto da eventual construção do Metro a questão deste arco pode ficar resolvida, pois estão previstas soluções

alternativas ao percurso, inclusive uma ciclovia. Na Figura 4.7 encontra-se representado o plano da zona onde se encontra o troço considerado.



Figura 4.7 – CAD pormenor de projecto Metro Mondego, relativo à zona do troço 2
(Fonte: Metro Mondego@ 2013 e GoogleMaps@ 2013)

O troço 3, é fundamental na ligação da Conchada à zona de Celas, sendo caracterizado por um declive aproximado de 6% e comprimento de 203 metros. É pois segundo a tabela AASHTO plenamente ciclável nos dois sentidos. O troço 4, na Rua Carlos Seixas, é uma alternativa importante para encurtar percursos nomeadamente para a zona do Bairro Norton Matos, embora como a própria Figura revela pode ter alternativas menos íngremes nomeadamente pela Rua Pedro Alvares Cabral.

Uma análise semelhante utilizando agora todos os arcos incluídos na tabela AASHTO, ou seja até 11%, obtém-se uma área ligeiramente diferente da anterior, mas com a possibilidade de existência do problema da cadeia de arcos. Esta pode considerar-se a área máxima de permeabilidade ciclável e encontra-se representada na Figura 4.8.

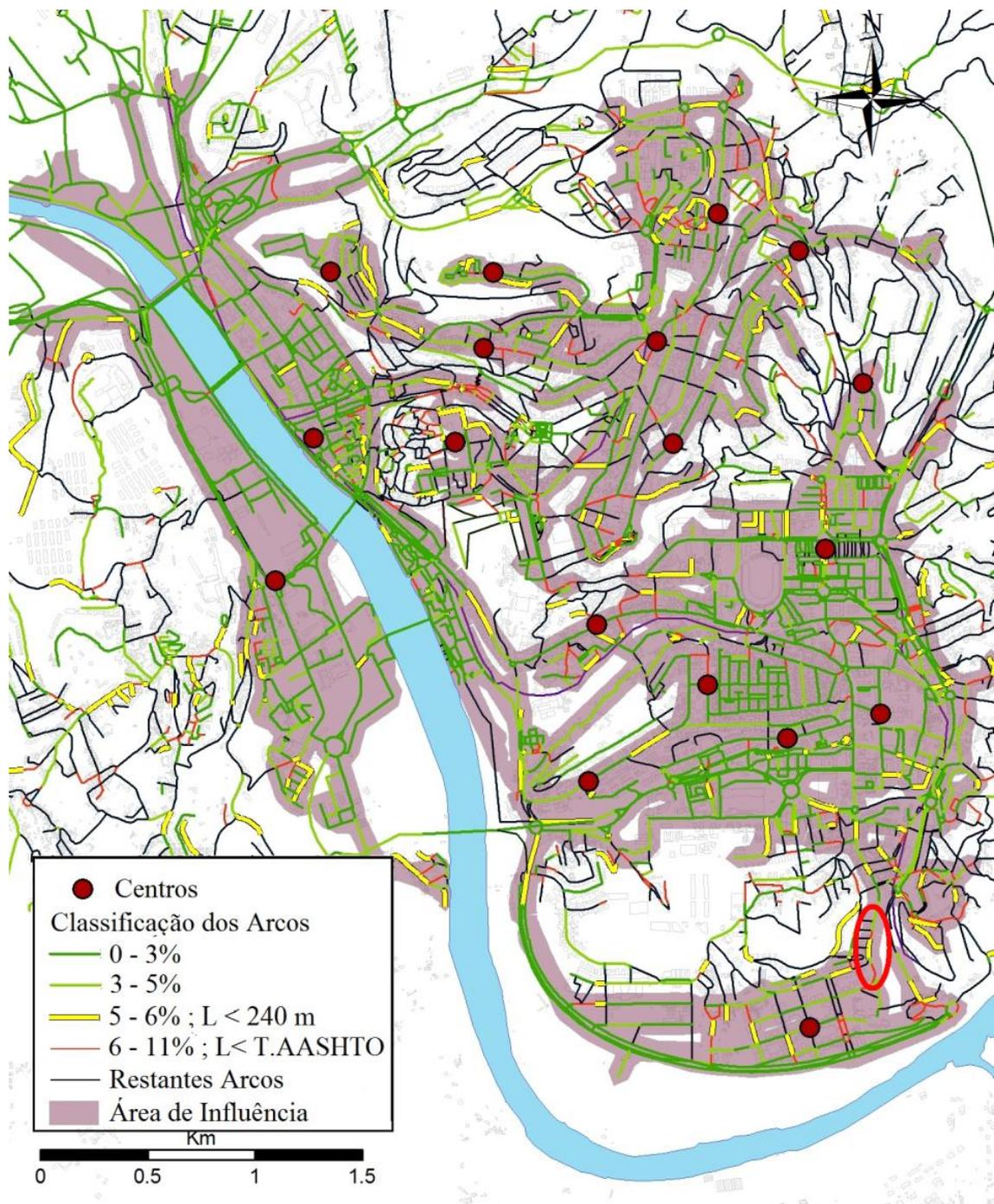


Figura 4.8 – Permeabilidade geral da rede, considerando todos os arcos que respeitam a tabela AASHTO

Pela Figura 4.8, verifica-se que a zona 1 mantém-se separada das outras, contudo as outras 3 estão agora unidas. Porém, esta união é enganadora: devido ao *buffer* de 50 metros, ela liga áreas que estão próximas quando na realidade, analisando os arcos de “conexão” ao redor da

Av. Dias da Silva (Z4), verifica-se que nenhum dá ligação à zona da Celas (Z3). Outro aspecto que se verifica é uma nova área que liga a Z3 aos Arcos do Jardim e por sua vez à Alta Universitária, essa zona será melhor analisada na secção 4.5 deste capítulo.

Existe também uma ligação que se sobressai relativamente à área mínima de permeabilidade (Figura 4.6). É a ligação indicada na Figura 4.8 com uma envolvente a vermelho. Esta ligação faz, tal como o troço 1, ligação entre a Zona da Portela e a zona à beira rio. Contudo esta ligação é o exemplo de uma ligação enganadora, pois verifica-se que existe o problema de cadeia de arcos no sentido Sul-Norte dessa ligação. Na verdade temos 3 arcos, de 52, 44 e 40 metros com declives de 5.8, 5.9 e 7.5 % respectivamente, considerando a média ponderada dos declives destes arcos (6.3%) verificamos que a cadeia de arcos suplanta a extensão máxima definida pela tabela AASHTO (136 m > 120 m). Segundo a tabela só seria possível percorrer esta cadeia de arcos caso o declive fosse inferior a 6 %,

4.3 Análise de População

Através da área mínima obtida, representada na Figura 4.6 e a partir da população presente das subsecções estatísticas referente aos Censos 2001, pôde-se contabilizar a População aproximada que é abrangida pelas áreas de influência cicláveis. A população presente representa o número total de pessoas que, no momento da observação se encontra numa unidade de alojamento mesmo que aí não resida (INE@ 2013). Este valor tem em consideração, por exemplo, os estudantes que não residem em Coimbra mas que vivem durante a maior parte do ano na cidade.

Para isso foram usados resultados fornecidos através de um programa pré-existente que, com base nas características do edificado (altura, área útil etc.) e população das subsecções estatísticas, estima a população em quadrículas de 50 por 50 metros. Essas quadrículas foram posteriormente intersectadas com a área de influência da Figura 4.6 na zona delimitada no Anexo, ou seja interior à circular externa da cidade, obtendo-se desta forma a população que se encontra no Quadro 4.1

Quadro 4.1 – Populações abrangidas por zona

COD	Zonas	População (hab) Censos 2001
Z1	Baixa da cidade	26476
Z2	Parte da Alta Universitária, Pólo I	72
Z3	Celas e Conchada	8322
Z4	Av.Dias da Silva	2215
Total		37085

Na Figura 4.9 encontra-se a representação da intersecção das quadrículas de população com a área de influência ciclável na zona estudada.

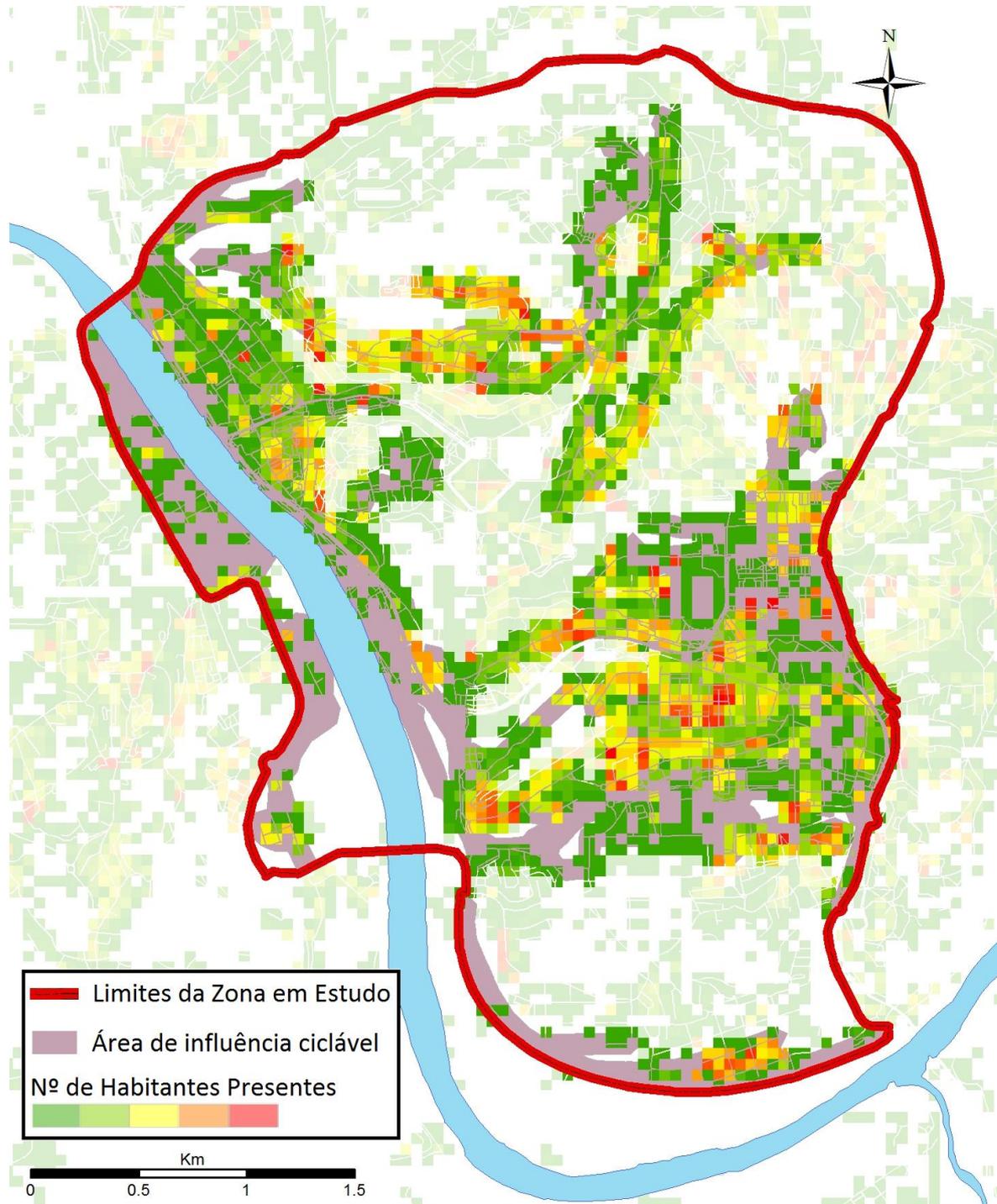


Figura 4.9 – Sobreposição das áreas de influência cicláveis na região em estudo com as quadrículas de população

Da análise feita retira-se que um total de cerca de 37000 habitantes presentes, são abrangidos por estas áreas de influência, sendo que a maioria se encontra, como esperado, na zona 1. Ao todo a zona em estudo (representada em Anexo) conta com 60000 habitantes.

Contudo, como se verifica pela análise das áreas de influência, estas áreas são desconexas, existindo uma separação de cerca de 26000 habitantes que vivem na zona mais baixa da cidade com cerca de 11000 habitantes que vivem nas zonas mais altas. Este facto é bastante relevante pois estas zonas para além de terem uma grande densidade populacional, são caracterizadas por um grande número de serviços. Desta forma existe um grande número de viagens entre elas, que não poderão ser contabilizadas através de mobilidade ciclável.

A solução de ligação das zonas com elevadores parece pois uma boa hipótese para conectar estas populações e serviços que se encontram separados, garantindo desta forma que estas viagens entre zonas se possam realizar.

4.4 Localização de Possíveis Elevadores

Como já referido, a carta da Figura 4.6 sugere locais para elevadores. No entanto para a sua localização exacta poder-se-ão considerar várias alternativas as quais exigirão um estudo mais aprofundado.

Considerou-se para estudos subsequentes os 3 “Elevadores” apresentados na Figura 4.10.

As soluções sugeridas são maioritariamente do tipo escadas ou rampas rolantes, pois estas têm a vantagem de auxiliarem tanto o fluxo pedonal como o ciclável contrariamente ao “Trampe” que é específico para bicicletas (*vide* Secção 2.2). Têm também vantagens relativamente aos elevadores verticais ou funiculares pois não há necessidade de espera, nem problemas de espaço.

O “Elevador” nº 1 com cerca de 320 metros de extensão e um desnível de 60 metros, vai da Rua da Sofia até à Conchada. Neste percurso é considerada a possível existência de vários dispositivos mecânicos ao longo de toda a Azinhaga do Carmo. Este trajecto poderia ser composto primeiro por um troço em tapete rolante, seguido de vários troços em escada e/ou rampa rolante até ao cruzamento da Conchada.

O “Elevador” nº 2 com cerca de 310 metros de extensão e um desnível de cerca de 30 metros, entre Celas e a Av. Dias da Silva, encontra-se na Rua Gomes Freire. Esta rua tem o problema de residentes que pretendem sair das suas casas de automóvel. É aliás a única solução em que

este problema existe. Uma possibilidade seria uma sequência de 3 escadas ou tapetes rolantes colocados a meio da rua, com possibilidade de circulação automóvel na rua apenas para residentes. Outra solução seria o “Trampe” no passeio do lado direito.

O elevador nº 3 com cerca de 420 metros de extensão e um desnível de 70 metros, localizado próximo à rotunda Av. António Portugal, seria possivelmente uma sequência de escadas e/ou rampas rolantes, que levariam os ciclistas da zona da rotunda até à Rua Luís de Camões. Esta Rua é caracterizada por vários arcos com declives entre 0 e 5%, logo plenamente cicláveis, e um último arco antes da chegada à Av. Dias da Silva de categoria 6, com declive de 5.9 % e comprimento de apenas 50 metros, ciclável segundo a tabela AASHTO. Outras soluções seriam o “trampe” ou mesmo um elevador/funicular devido ao elevado desnível.

De referir uma outra alternativa para localização do 3º elevador. Trata-se da ligação de um ponto próximo à Escola Infanta D. Maria na Solum à Rua Miguel Torga e posteriormente outra ligação da Rua Miguel Torga pelos Loios até à Av. Dias da Silva. O problema relativo a este elevador é o atravessamento da Rua Miguel Torga e o facto de ser uma zona com maior densidade de construção e daí com menos espaço para uma solução viável. Além disso, provavelmente o elevador não poderia ser directo tendo várias interrupções pelo caminho, contrariamente à outra solução considerada. Contudo, tem a vantagem de ligar directamente a uma zona escolar e comercial (extremo inferior).

Para escolha dos locais sugeridos para instalação de dispositivos mecânicos de elevação teve-se especialmente em consideração zonas de declives elevados e ligando directamente a locais totalmente cicláveis. Preferiu-se trajectos directos de declives elevados e portanto curtos.

De notar que o elevador nº 3 é o único imprescindível, uma vez que este atinge o ponto mais alto da cidade e a partir daí é possível descer e aceder a quase toda a cidade. No entanto a existência de outros elevadores evita grandes percursos. Por exemplo, num hipotético caso extremo, quem estiver em Celas e se quiser deslocar até à Av. Dias da Silva somente de bicicleta, teria de descer até à zona baixa da cidade e percorrer toda a cidade até ao local do elevador 3, subindo por esse elevador.

O facto de só se terem considerado 3 elevadores não elimina a possibilidade de outros no sentido de diminuir distâncias.

4.5 Um Potencial Circuito Principal

Pensou-se deste modo, tendo em consideração o referido em Pucher (1997) (*vide* Secção 2.2), na possibilidade de planear um circuito ciclável na cidade. A Figura 4.10 apresenta essa possibilidade através de arcos com cor verde ou amarela, conforme o respectivo declive, e vermelha ou azul para elevadores e correspondentes trajectos inversos respectivamente.

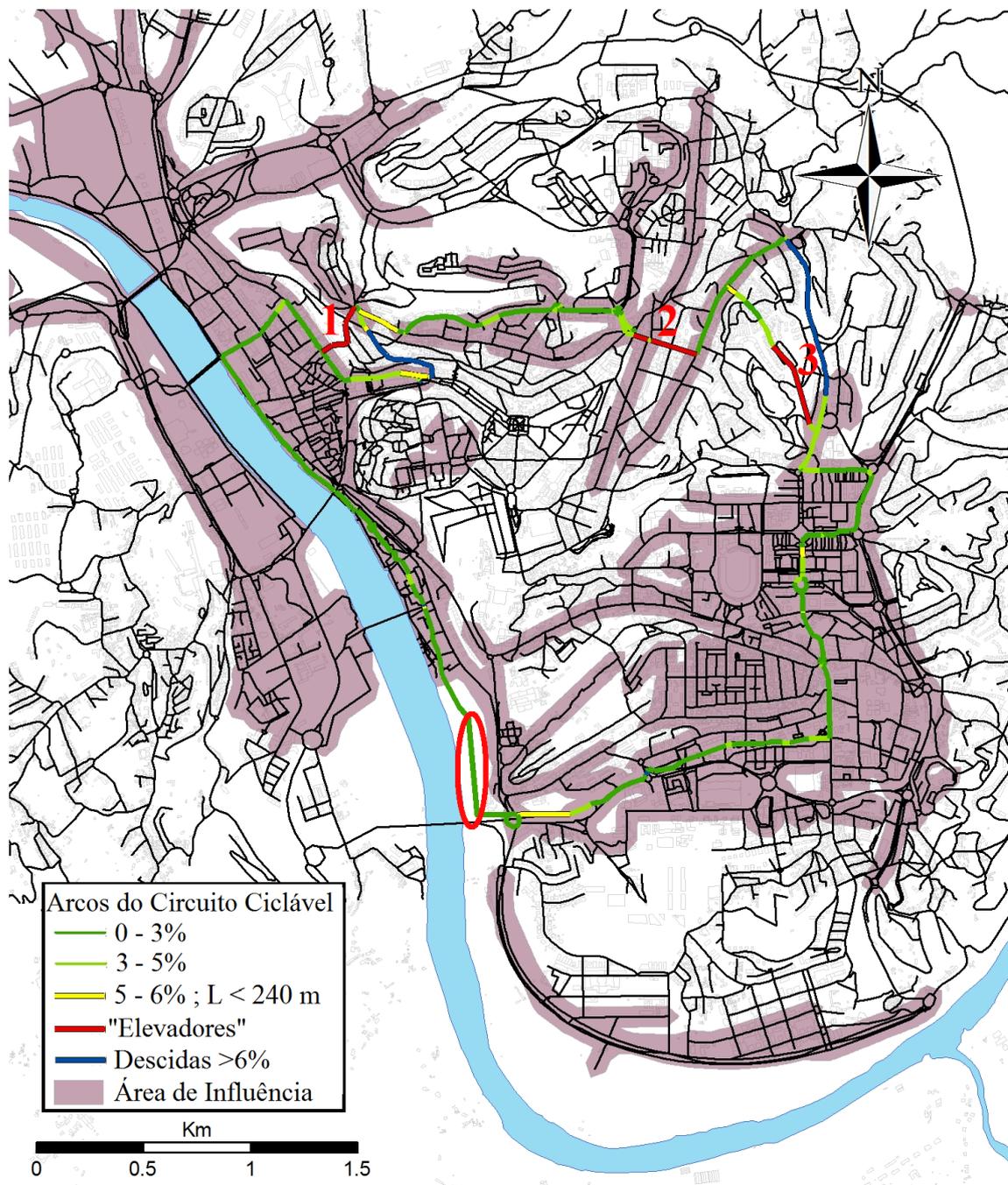


Figura 4.10 – Elevadores e circuito ciclável considerado

Para representação deste circuito considerou-se na parte alta da cidade os percursos de menor declive que ligam entre si os elevadores. Na parte baixa da cidade, o principal aspecto na criação de uma rede ciclável deixa de estar ligado apenas a percursos com menores declives, mas também a outros aspectos como o tráfego, poluição, conectividade da rede, entre outros, já referidos (*vide* Capítulo 2).

Assim, como esta dissertação se apoiou essencialmente no estudo dos declives da rede de Coimbra, a proposta de circuito para a zona baixa da cidade apenas representa uma possibilidade. Outras soluções seriam possíveis, dependentes de um estudo mais pormenorizado fora do âmbito deste trabalho.

De realçar que na zona baixa da cidade foi considerado o sugerido pelo Plano Estratégico de Coimbra (Deloitte, 2009), que refere percursos cicláveis em torno do espelho de água do rio Mondego e a ligar aos vales que vão dar ao rio. Optou-se então por um trajecto a passar pelas duas ciclovias já existentes na cidade de Coimbra, a Ciclovia do Parque Verde Mondego e a Ciclovia do Vale das Flores, criando um arco em SIG de ligação entre o Parque Verde e a rotunda por baixo da Ponte Europa - este arco encontra-se assinalado na Figura 4.10 com uma envolvente a vermelho.

O arco criado, indicado na Figura 4.10, resolve aliás o problema existente na ligação dessa mesma rotunda à Av. Cónego Urbano Duarte. Como a ligação directa existente actualmente é através de declives superiores aos estabelecidos pela tabela da AASHTO, o ciclista que se encontre nessa rotunda e pretenda aceder ao Parque Verde Mondego, terá de se deslocar até à Rua Pedro Álvares Cabral subir até ao Bairro Norton Matos e finalmente descer a Rua Carlos Seixas. Assim percorreria declives aceitáveis, mas este desvio traria grandes inconvenientes principalmente para quem vai da zona do Pólo II e Portela ou mesmo do Vale das Flores. Este desvio pode obrigar ciclistas a percorrer mais 7 a 8 minutos do que os ocorrentes com o arco proposto (tal facto encontra-se demonstrado na secção 4.8 relativamente às matrizes temporais OD).

Entre a ciclovia do Vale das Flores e o elevador número 3 existem várias soluções alternativas possíveis. Foi considerada a solução apresentada na Figura 4.10, para efeitos de estudo.

De notar que se pressupõe dispor este circuito de um certo número de características e comodidades, que levariam os ciclistas a sentirem-se mais atraídos pela sua utilização, em detrimento de outras rotas mesmo que mais curtas. Para simular esta possibilidade no NA, foi criado um campo na rede subjacente designado de “Circuito”. Todos os arcos incluídos nesse circuito foram marcados com o valor 1, os restantes foram marcados com o valor 0. Foi também criado um parâmetro no modelo NA, designado por “FactorCircuito”. Este factor

multiplica o comprimento ciclável equivalente ($LenCicEq$, ver Quadro 3.2). É 1, para todos os arcos fora do circuito, e pode variar entre 0 e 1 nos do circuito. Assim, colocando o factor a 1 está-se a considerar o circuito ao mesmo nível dos outros arcos, colocando o factor a 0 está-se praticamente a obrigar a passagem pelo circuito, nos cálculos em NA. Valores intermédios tenderão a “levar” os ciclistas a utilizar, mais ou menos, o circuito. Este factor tem especial importância aquando do cálculo das matrizes OD (*vide* Secção 4.8).

Realizando um estudo semelhante ao efectuado no cálculo das áreas de influência sem elevadores, pode obter-se a área de influência ciclável deste circuito. Para obtenção desta área apenas é considerado um ponto localizado na parte mais alta do circuito (designado “Centro” na carta da Figura 4.11), ou seja na Av. Dias da Silva, zona dos Olivais, pois todo este circuito tem ligação entre si. Desta forma a área obtida através do NA é representativa da área de influência dos elevadores e do circuito criado.

Foram permitidas nesta análise descidas até 11%, pois agora existe possibilidade de recorrer aos elevadores no sentido ascendente. Assim, foi necessário obter as áreas de influência nos dois sentidos (*Away* e *Towards*). A intersecção destas áreas será a verdadeira área de influência do circuito nos dois sentidos.

Procedeu-se seguidamente à parametrização do NA, impedindo subidas de arcos com declive superior a 5%, com excepção dos troços de 6% referidos anteriormente, ou pertencentes ao circuito e os elevadores criados. Nas descidas impediu-se uso de declives superiores 11% por questões de segurança. ($DeclUpMinPedal=5.1\%$; $DeclUpMax=5.1\%$; $DeclDownMaxCicl=11\%$; $DeclDownMaxPed=11\%$, ver Quadro 3.1).

A área de influência representada na Figura 4.11, dá indicação de todos os pontos que têm acesso nos dois sentidos ao circuito. Como este circuito passa pelo ponto mais alto da cidade (situada na área interior à circular externa, representada no Anexo) e dada a estrutura da mesma, verifica-se que esta área ocupa uma grande parte da cidade, pois a partir desse ponto a maioria dos percursos são descendentes. Existem porém algumas excepções notáveis.

- a) Situações de sela, como por exemplo o Pólo I, pois para ir da Av. Dias da Silva até este Pólo, desce-se de mais para depois se ter de subir, subidas essas que não estão de acordo com a tabela AASHTO; outro exemplo é na zona sul da cidade, Pinhal de Marrocos, pelas mesmas razões;
- b) Situações em que o declive de descida é excessivo e pouco aconselhável ao percurso ciclável, não só pelas condições da rua mas acima de tudo pelo excessivo declive (Arcos com declive superior a 11%).

Como se pode verificar pela Figura 4.11, 3 das zonas consideradas no estudo sem elevadores encontram-se agora conexas e abrangem uma área maior. Praticamente todas as zonas da cidade ficam ligadas entre si.

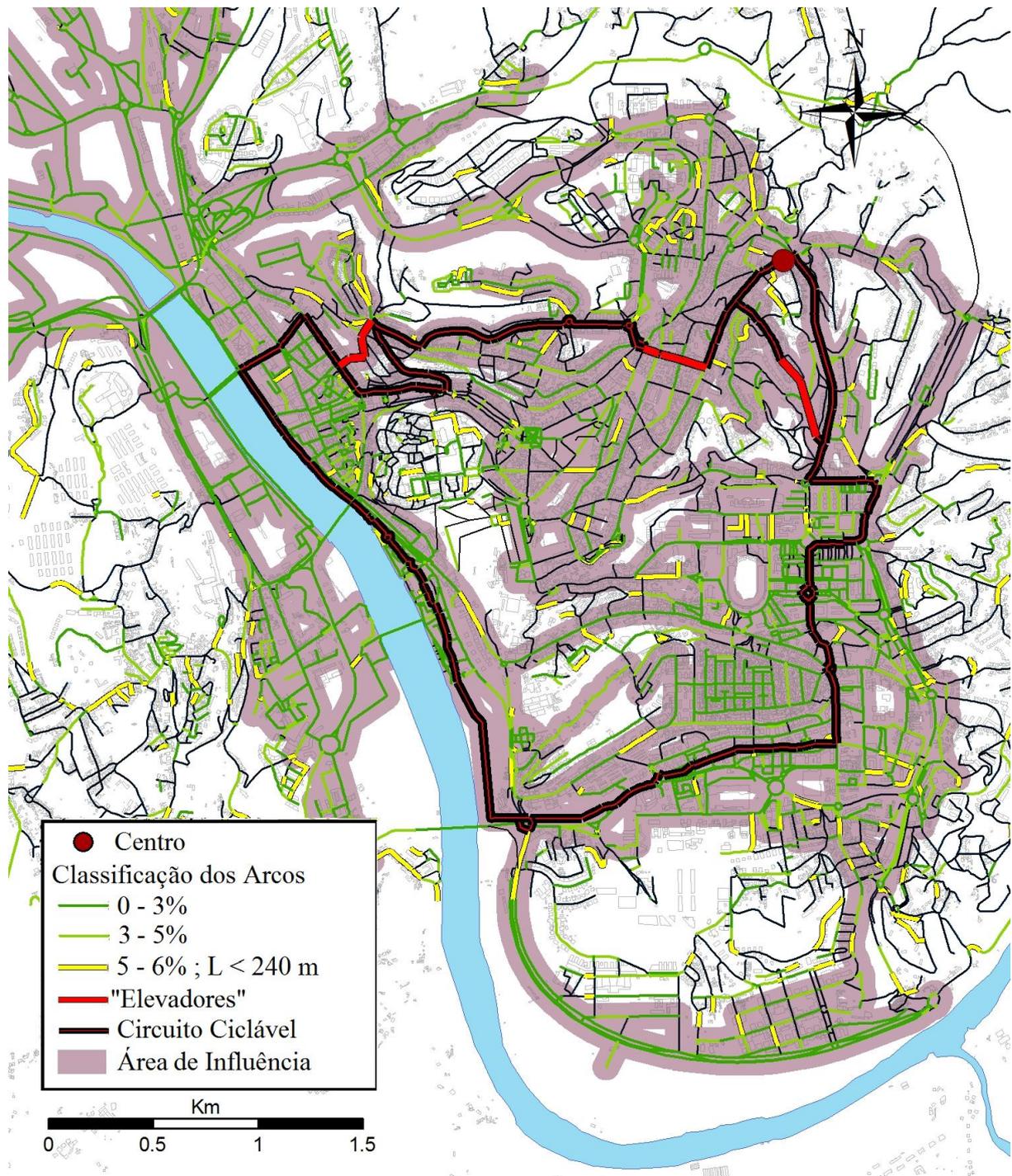


Figura 4.11 – Permeabilidade geral considerando o circuito em ambos os sentidos

Através de uma análise semelhante à utilizada na contabilização da população abrangida pelas regiões cicláveis desconexas sem elevadores na Secção 4.3, fez-se agora o mesmo mas considerando a área obtida. O resultado obtido foi um total de cerca de 51000 habitantes abrangidos por esta área, ou seja, com a opção dos elevadores não só se consegue unir as áreas e as suas populações, como também se aumenta a população abrangida em cerca de 14000 habitantes. Contudo, na realidade o número de habitantes beneficiados seria bem superior a 14000, uma vez que os 37000 habitantes referidos para o estudo sem elevadores incluíam população referente a áreas desconexas, logo as viagens entre zonas não se poderiam considerar.

Convém referir que estas populações são apenas referentes à zona em estudo (ver Anexo) pois alguns percursos cicláveis continuam para fora dessa zona. A área considerada no estudo tem ao todo cerca de 60000 habitantes.

Pela Figura 4.11 é perceptível que a importante zona do Pólo I da Universidade não fica abrangida pela solução considerada. Contudo esse problema já está à partida parcialmente resolvido como se verá adiante.

Foi também calculada a área de influência considerando todos os arcos cicláveis segundo a tabela AASHTO como na Figura 4.8. O resultado obtido é praticamente semelhante à área obtida na Figura 4.11. Desta forma não foi apresentada. Convém referir que apesar de área de influência ser praticamente a mesma, os percursos das viagens dentro da zona podem ser diferentes.

4.6 O Problema do Pólo I da Universidade

Como se verificou pela Figura 4.6 (área de influência sem elevadores), um ponto localizado no Pólo I origina uma pequena área de influência sem conexão à restante cidade. Após a introdução dos elevadores verificou-se pela Figura 4.11 que esta zona do Pólo I continua a não estar ligada à restante zona ciclável.

Contudo, existe a possibilidade de aceder ao elevador do mercado a partir da baixa, permitindo o ciclista estacionar junto a este ponto e subindo de elevador, chegar ao Pólo I.

Existe também a possibilidade de aceder à rampa junto aos Arcos do Jardim, Calçada Martim de Freitas, a partir de Celas. Estes ciclistas evitam descer até ao mercado para tomar o elevador. Apesar daquela rampa não se encontrar de acordo com os parâmetros definidos pela tabela AASHTO (declive de 8% e comprimento de 145 metros), seria de considerar a possibilidade de alguns ciclistas a subirem dada a juventude da população que ali se desloca.

Na Figura 4.12 estão representados os dois percursos referidos acima para aceder ao Pólo I, a partir da Baixa e a partir da Cruz de Celas.



Figura 4.12– Acesso de Celas aos Arcos do Jardim e da Baixa ao elevador do Mercado

Da baixa até ao elevador todo o percurso é feito em arcos com declive entre 0 e 5%.

Da Cruz de Celas ao outro ponto de acesso todo o percurso é descendente. Porém no sentido inverso existem alguns arcos cujo declive é de ter em particular consideração, nomeadamente dois: parte da rua de Tomar, representada a amarelo, que tem aproximadamente declive de 6% e comprimento de 158 metros, e a rua Dr. Augusto Rocha, a laranja, com 6.8 % e comprimento 116 metros. Portanto todos os arcos estão de acordo com o definido pela tabela AASHTO e são cicláveis em ambos os sentidos.

Convém referir que uma transformação do elevador do mercado no sentido de ser possível transportar a bicicleta, poderia resolver o problema do elevador número 1, Baixa-Celas. Como se verifica na mesma Figura, 4.12, do topo do elevador à Praça D. Dinis existe percurso ciclável. Uma zona crítica desse percurso encontra-se logo no topo do elevador, com 2 arcos a perfazer um total de 35 metros, estes foram desprezados pois considera-se que já que o

ciclista tem de subir o elevador com a bicicleta à mão pode percorrer esse pequeno troço a pé. Todo o restante percurso está de acordo com a tabela AASHTO.

Esta solução, no entanto, tornaria a zona do Pólo I uma zona de passagem para quem quer ir da Baixa para Celas, não parecendo ser uma solução apropriada como alternativa ao elevador número 1.

4.7 Outras Soluções – Integração com o Transporte Colectivo

Outra questão a ter em consideração é a integração da mobilidade ciclável com os transportes colectivos. Para a integração da mobilidade ciclável com os transportes colectivos é, no entanto, necessária a implementação de algumas medidas de apoio que incentivem esta prática, tais como a possibilidade de transporte de bicicletas nos transportes colectivos, sistemas de “*Bike & Ride*” (estacionamentos nas principais paragens de transporte colectivo) ou sistemas de “*Bike Sharing*” (sistemas de partilha de bicicletas). A partir desta integração é possível o ciclista fazer parte do percurso de bicicleta, por ser mais rápido e cómodo, ou por lazer, e outra parte de transporte colectivo, por exemplo as subidas.

A possibilidade de transporte de bicicleta nos transportes colectivos é bastante positiva. Sabe-se que no geral as pessoas preferem substancialmente transportar as suas bicicletas nos transportes colectivos ao invés de as deixar em estacionamentos apropriados, pois assim têm liberdade de uso sempre que necessário (Pucher e Buehler, 2009). Contudo existe sempre limitações de espaço neste tipo de veículos que podem levar à desistência.

O sistema de “*Bike & Ride*”, mesmo com estacionamentos de qualidade, tem sempre o inconveniente do ciclista ter de deixar a bicicleta num estacionamento apropriado, sendo que no restante percurso não tem possibilidades de a usar, ficando dependente de voltar ao sítio onde a estacionou. Por exemplo, nos autocarros nem sempre as viagens num sentido vão dar às mesmas paragens que no sentido oposto.

O sistema de “*Bike Sharing*” tem de positivo o facto de o ciclista não ter de se preocupar com a bicicleta enquanto não a está a usar. Contudo há sempre a dependência da localização dos postos de aluguer.

Os transportes colectivos urbanos existentes actualmente em Coimbra são os SMTUC, maioritariamente autocarros. Os autocarros têm algumas limitações, pois têm pouco espaço para transportar bicicletas, embora haja algumas soluções como por exemplo, um suporte de bicicletas no exterior dos autocarros. Além deste factor as paragens abrangem uma grande área da cidade e com bastante proximidade entre elas, o que faz com que esta integração de

bicicleta nos autocarros só seja útil para percursos de longas distâncias e para resolução dos já referidos problemas de declives encontrados (descida em bicicleta, subida em autocarro). Porém não parece ser esta a melhor solução para este problema, pois os ciclistas estarão sempre dependentes do espaço reservado nos autocarros para bicicletas, o que poderá levar à sua desistência.

Também existe a possibilidade da futura existência do Metro. Aí o problema já é um pouco diferente, porque essas paragens são em menor número, e pode existir mais facilidade no transporte de bicicletas dentro da carruagem.

Na Figura 4.13 é apresentada uma carta que representa as mesmas áreas de influência cicláveis já apresentadas anteriormente, mas desta vez considerando o Metro. Para obter esta figura, voltou-se a não considerar os elevadores, e a limitar as subidas a 5%, e as descidas até 11%. (DeclUpMinPedal=5.1%;DeclUpMax=5.1%;DeclDownMaxCicl=11%;DeclDownMaxPed=11% ; ver Quadro 3.1). Esta área é resultado da intersecção das áreas nos dois sentidos.

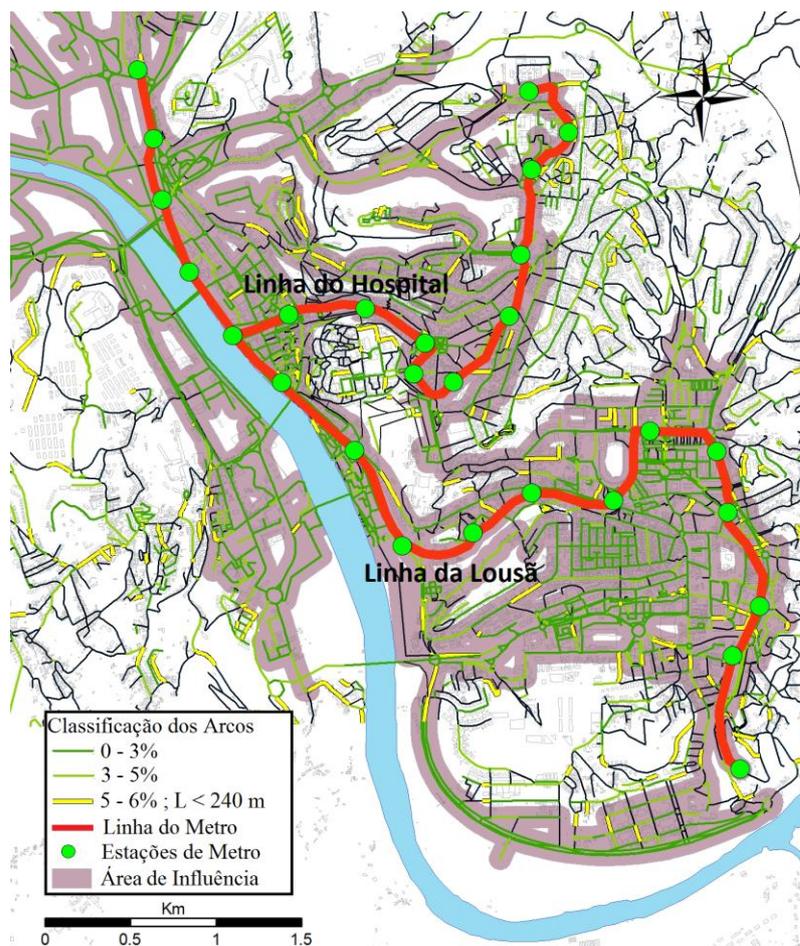


Figura 4.13 – Permeabilidade tendo em conta a linha do Metro, ambos os sentidos.

Pela Figura 4.13 é facilmente perceptível que com o Metro apenas se pode resolver o problema de ligação entre a zona baixa da cidade (Z1) e a zona de Celas (Z3). O problema da desconexão da Av. Dias da Silva, mesmo com a possibilidade de transporte bicicleta dentro do Metro, mantém-se. Verifica-se também que toda a linha da Lousã, parte urbana, se encontra dentro de uma região totalmente ciclável, logo para os ciclistas essa linha não traz muito mais benefícios em termos de aumento de área abrangida por viagens em bicicleta. A linha do Hospital também só auxilia os ciclistas desde a Av. Sá da Bandeira até aos Arcos do Jardim - a partir deste ponto o Metro segue rotas cicláveis.

Na Figura 4.14, é apresentada uma análise feita considerando a área de influência pedonal, para tempos médios de 5 e 10 minutos que corresponde ao tempo aproximado que uma pessoa está disposta a percorrer a pé para aceder a um transporte colectivo.

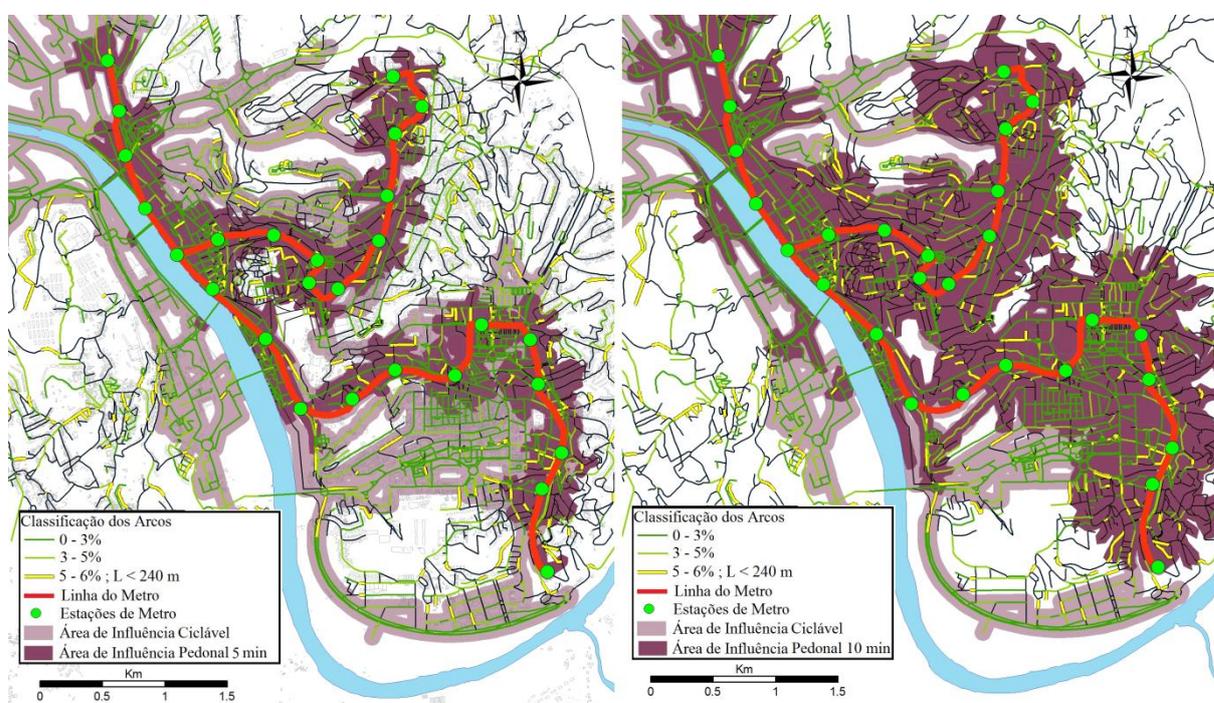


Figura 4.14 – Área de influência do Metro, pedonal e ciclável

Verifica-se que as áreas de influência pedonais do Metro, abrangem quase toda a área de influência ciclável. Em suma pode concluir-se que o Metro traz vantagens aos ciclistas na ligação Baixa - Celas, e pode ajudar pessoas com origem ou destino na zona do Vale das Flores e Portela, e porventura na Conchada, pois já se situam a uma distância considerável da estação mais próxima. Em todas as outras zonas da cidade pouco há de proveito na relação bicicleta/Metro, pois ou a pessoa faz o percurso todo de bicicleta ou então terá tendência a deslocar-se a pé para a estação de Metro, devido à sua proximidade.

Em resumo, o Metro resolveria muito dos problemas de mobilidade da cidade, pois verifica-se que abrange uma área de influência pedonal bastante grande, contudo no que toca ao problema da mobilidade ciclável, praticamente só resolve o problema da ligação Baixa - Celas.

4.8 Outros Resultados - Matrizes OD e Alguns Percursos

Nos estudos que se seguem foram considerados, dois conjuntos de pontos: pontos geradores de viagens, normalmente posicionados nas zonas de maior densidade populacional; pontos atratores de viagens, usualmente considerados nos pontos de ensino e de trabalho (escolas, hospitais e emprego).

No Quadro 4.2 e Figura 4.15 estão indicados os pontos considerados

Quadro 4.2 – Atratores (P) e Geradores (C)

Centros Geradores		Pólos Atratores	
C1	Estação Nova /Baixa /Fernão de Magalhães	P1	Pólo I - Elevador / Esc. Jaime Cortesão
C2	Conchada	P2	Pólo II
C3	Montes Claros	P3	Pólo III / Hospital da Universidade Coimbra
C4	Rua Padre Manuel Nóbrega	P4	Faculdade de Economia (FEUC)
C5	Cruz de Celas	P5	Escola de Enfermagem (ESEnfC)
C6	Bairro de Celas	P6	ESEC / Esc. D. Maria e Brotero / Dolce Vita
C7	Olivais	P7	ISEC / Esc. Qta das Flores/ Coimbra Shopping
C8	Avenida Dias da Silva/Loios	P8	Escola Superior Agrícola (ESAC)
C9	Avenida Elísio de Moura	P9	Estação Nova /Baixa /Fernão de Magalhães
C10	Quinta da Maia	P10	Esc. José Falcão
C11	Solum	P11	Esc. Sec. D. Duarte
C12	Casa Branca	P12	Pólo I Rampa (Calçada Martim de Freitas)
C13	Bairro Norton de Matos		
C14	Vale das Flores		
C15	Rua Carlos Seixas		
C16	Portela		
C17	Rua do Brasil		
C18	Santa Clara		
C19	Rua Miguel Torga		
C20	Praça da República		

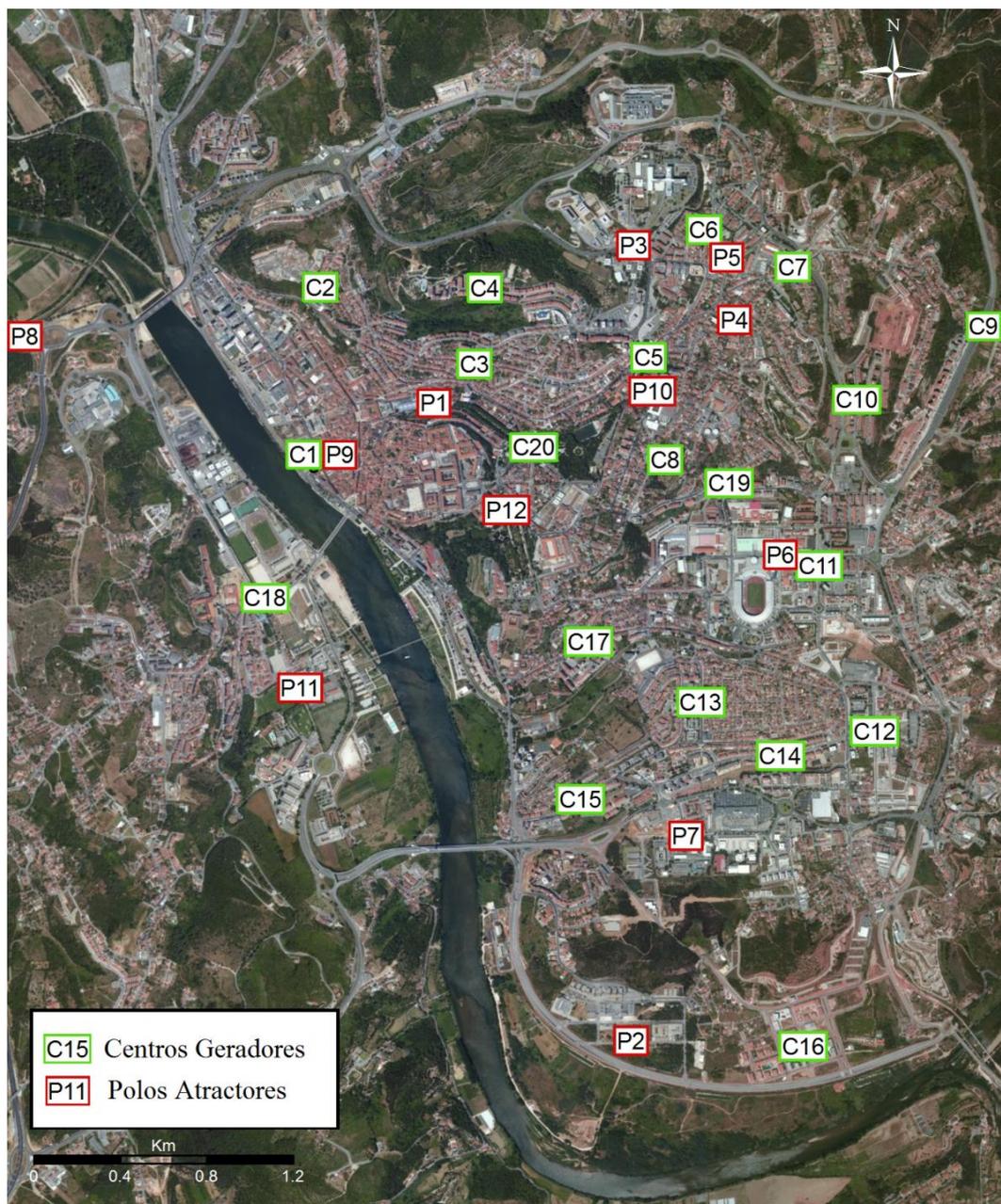


Figura 4.15 – Localização dos Atractores (P) e Geradores (C) em Coimbra

Como se pode verificar pela Figura 4.15, muitos dos centros geradores considerados são os mesmos pontos utilizados aquando do estudo das áreas de influência, visto que conciliam o facto de serem zonas de planalto com a elevada densidade populacional.

Relativamente aos pontos atractores, uma grande maioria são pólos universitários, pois estes são muito representativos da cidade. Em 2007, estudavam em Coimbra um total de 33576 estudantes no ensino superior, 93% dos quais nos polos considerados (TIS, 2009). Há também

a referir o enorme número de estudantes existentes no ensino secundário, pelo que estas escolas também foram consideradas ou aglomeradas a outros pontos devido à sua proximidade.

Foi também considerado um ponto na Estação Nova (Estação de Comboios de Coimbra-Centro), tanto como gerador, devido à chegada de passageiros dos comboios, como atractor, pois este funciona igualmente como ponto de atracção, bem como toda a sua envolvente (Baixa e Av. Fernão de Magalhães são zonas com muito emprego).

Os HUC foram aglomerados ao Pólo III devido à sua proximidade.

4.8.1 Matrizes OD

Através do modelo criado, é possível obter as matrizes OD de tempos de viagem em bicicleta, entre os dois conjuntos de pontos considerados.

Para obtenção destas matrizes, parametrizou-se o NA admitindo descidas até 11%, e subidas até 6% de acordo com a tabela AASHTO. Por observação das cartas apresentadas ao longo desta dissertação, verifica-se que a maioria dos arcos com declives entre 5% e 6% dentro da zona considerada, não têm o problema relativo a cadeias de arcos, podendo pois ser considerados. Foram também incluídos nesta análise, de forma manual, alguns arcos relevantes com declives superiores a 6% e distâncias de acordo com a tabela AASHTO.

Quanto ao “Factor de Circuito” (definido na secção 4.5), foram calculados repetidamente percursos na rede, variando este factor. Por observação dos resultados foi-se calibrando o factor de acordo com as escolhas que o NA fazia. Na sequência dessa análise foi possível concluir ser o valor de 0.5 o que melhor se ajustava, sendo assim o que foi adoptado. Deste modo é possível ocorrer melhores tempos na análise sem circuito relativamente à análise com circuito, contudo vale a pena lembrar que se pressupõe à partida ter o circuito melhores condições e que por isso o ciclista terá tendência a escolhê-lo.

Foram calculadas as matrizes OD nos dois sentidos, para a situação com elevadores activos e “Factor de circuito” 0.5, e para a situação com elevadores inactivos e “Factor de Circuito” igual a 1 ou seja como se não existisse. A velocidade, dos elevadores, considerada foi de 0.5 m/s. Convém referir que a função custo minimizada, foi o comprimento equivalente ciclável (LenCicIEq, Quadro 3.2), no entanto este objectivo serviu apenas para simular a tendência que os ciclistas têm em se dirigirem ao circuito. Paralelamente foram também acumulados os tempos de percurso, valores esses que deram origem às matrizes OD apresentados nos Quadros 4.3; 4.4; 4.5; 4.6.

Quadro 4.3 – Matriz OD com tempos no sentido atrator - gerador (circuito activo)

O/D (min)	Est. Nova	D.Duarte	ESAC	ESEC	ESEnFC	FEUC	ISEC	J.Falcão	Polo I - Elevador	Polo I Rampa	Polo III	Polo II
Av Eliseo de Moura	17	19	23	4	23	19	9	21	20	23	22	15
Av. Dias da Silva/Loios	5	9	10	4	7	3	10	1	3	2	3	15
B.N.Matos	10	12	15	3	26	23	3	24	12	27	25	7
Bairro de Celas	9	13	11	9	0	10	18	2	7	5	2	19
Casa Branca	12	14	18	3	26	22	4	24	15	26	25	9
Coimbra A	0	4	6	15	21	27	10	19	3	21	18	11
Conchada	4	8	7	13	9	15	14	7	2	9	6	15
Cruz de Celas	7	11	10	7	3	9	16	1	5	3	2	18
Mts.Claros	5	8	7	10	6	12	14	4	2	6	4	15
Olivais	9	13	12	4	3	1	10	3	7	5	4	15
Portela	13	15	18	15	37	33	9	32	16	34	31	4
Praça da República	3	7	9	19	21	27	13	20	1	21	19	14
Qta da Maia	17	18	22	2	20	16	9	18	19	20	19	14
Rua Carlos Seixas	8	9	13	8	30	26	2	26	10	28	26	5
Rua do Brasil	6	7	11	4	27	24	8	25	8	26	24	11
Rua Padre Manuel Nóbrega	8	11	10	10	6	12	17	4	6	6	4	18
Santa Clara	2	1	5	16	23	29	10	21	5	23	20	11
Rua Miguel Torga	16	18	21	2	21	17	8	19	19	21	20	13
Solum	14	16	19	1	23	19	6	21	17	23	22	11
Vale das Flores	10	12	16	5	27	23	3	25	13	28	26	8

Quadro 4.4 – Matriz OD com tempos no sentido gerador - atrator (circuito activo)

D/O (min)	Est. Nova	D.Duarte	ESAC	ESEC	ESEnFC	FEUC	ISEC	J.Falcão	Polo I - Elevador	Polo I Rampa	Polo III	Polo II
Av Eliseo de Moura	31	34	35	22	14	4	29	13	30	27	15	35
Av. Dias da Silva/Loios	27	31	31	20	10	2	28	9	26	25	12	33
B.N.Matos	10	12	16	6	20	10	7	11	12	9	14	12
Bairro de Celas	21	24	25	22	0	4	29	13	20	27	5	35
Casa Branca	13	14	18	3	18	7	4	9	15	7	11	10
Coimbra A	0	4	6	15	9	8	10	5	2	4	8	11
Conchada	13	17	18	24	6	6	23	5	13	15	6	24
Cruz de Celas	17	21	22	20	2	1	27	1	17	19	2	28
Mts.Claros	14	18	19	22	5	4	24	4	14	16	4	25
Olivais	28	32	32	19	11	1	26	10	27	24	12	32
Portela	14	15	19	8	23	12	6	13	16	12	16	3
Praça da República	19	23	24	21	4	3	29	2	19	1	4	29
Qta da Maia	20	21	25	4	13	3	11	12	22	9	14	17
Rua Carlos Seixas	7	9	13	7	16	11	8	13	10	12	16	10
Rua do Brasil	6	8	12	3	10	9	8	7	8	5	10	12
Rua Padre Manuel Nóbrega	18	21	22	23	5	4	27	4	17	19	4	28
Santa Clara	3	1	5	15	11	11	10	8	5	7	11	11
Rua Miguel Torga	29	32	33	22	12	4	29	11	28	27	13	35
Solum	15	16	20	1	15	5	7	7	17	5	10	12
Vale das Flores	11	13	16	4	19	8	3	10	13	8	12	8

Quadro 4.5 – Matriz OD com tempos no sentido atractor - gerador (circuito inactivo)

O/D (min)	Est. Nova	D.Duarte	ESAC	ESEC	ESEnfC	FEUC	ISEC	J.Falcão	Polo I - Elevador	Polo I Rampa	Polo III	Polo II
Av Eliseo de Moura	12	14	18	4	-	-	9	-	15	-	-	14
Av. Dias da Silva/Loios	5	9	10	4	7	3	9	1	3	2	3	15
B.N.Matos	9	11	14	3	-	-	3	-	11	-	-	7
Bairro de Celas	7	10	11	9	0	-	14	2	5	5	2	17
Casa Branca	9	11	15	3	-	-	4	-	12	-	-	9
Coimbra A	0	4	6	10	-	-	9	-	3	-	-	11
Conchada	4	8	7	13	9	-	13	7	2	9	6	15
Cruz de Celas	5	9	9	7	3	-	12	1	3	3	2	15
Mts.Claros	5	8	7	10	6	-	14	4	2	6	4	15
Olivais	7	11	12	4	3	1	9	3	5	5	4	14
Portela	20	22	26	14	-	-	9	-	23	-	-	4
Praça da República	3	7	8	13	-	-	13	-	1	-	-	14
Qta da Maia	11	13	16	2	-	-	8	-	13	-	-	13
Rua Carlos Seixas	6	8	12	6	-	-	2	-	9	-	-	5
Rua do Brasil	5	7	10	4	-	-	7	-	8	-	-	11
Rua Padre Manuel Nóbrega	8	11	10	10	6	-	15	4	6	6	4	18
Santa Clara	2	1	5	10	-	-	10	-	5	-	-	11
Rua Miguel Torga	10	12	15	2	-	-	7	-	12	-	-	13
Solum	9	11	14	1	-	-	5	-	11	-	-	11
Vale das Flores	10	12	15	4	-	-	2	-	13	-	-	8

Quadro 4.6 – Matriz OD com tempos no sentido gerador - atractor (circuito inactivo)

D/O (min)	Est. Nova	D.Duarte	ESAC	ESEC	ESEnfC	FEUC	ISEC	J.Falcão	Polo I - Elevador	Polo I Rampa	Polo III	Polo II
Av Eliseo de Moura	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-
Av. Dias da Silva/Loios	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
B.N.Matos	10	12	15	6	14	10	6	11	12	9	14	11
Bairro de Celas	-	-	-	-	0	4	-	4	-	11	5	-
Casa Branca	10	12	15	3	11	7	4	9	12	7	11	9
Coimbra A	0	4	6	9	7	6	13	5	2	4	7	18
Conchada	-	-	-	-	6	6	-	5	-	12	6	-
Cruz de Celas	-	-	-	-	2	1	-	1	-	8	2	-
Mts.Claros	-	-	-	-	4	4	-	3	-	10	4	-
Olivais	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Portela	13	15	19	8	16	12	6	13	16	12	16	3
Praça da República	-	-	-	-	4	3	-	2	-	1	4	-
Qta da Maia	14	16	19	4	13	3	10	11	16	9	13	16
Rua Carlos Seixas	7	9	12	7	14	11	7	12	9	11	14	12
Rua do Brasil	6	8	11	3	10	8	7	7	8	5	10	13
Rua Padre Manuel Nóbrega	-	-	-	-	5	4	-	4	-	11	4	-
Santa Clara	2	1	5	9	9	9	13	7	5	7	9	19
Rua Miguel Torga	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-
Solum	10	12	15	1	9	5	6	7	12	5	10	11
Vale das Flores	10	12	15	4	11	8	2	9	12	7	12	8

Através dos resultados obtidos nas matrizes OD, verificam-se alguns aspectos esperados e outros que vale a pena salientar.

Com os elevadores activos todas as viagens podem ser realizadas, o que não acontece com eles inactivos: cerca de 33% das viagens não se podem realizar, como indicado na Figura 4.16.

Com o circuito ciclável activo e factor a 0.5, podem existir viagens a durar mais 6 minutos que a viagem directa pelo caminho mais curto. Contudo convém lembrar que estudos indicam que ciclistas estão dispostos a percorrer maiores distâncias se existirem percursos com melhores condições, (Broach et al, 2012). Estas viagens na sua maioria são as provenientes da zona da Solum, que têm tendência a dirigir-se ao Vale das Flores para tomar o circuito, em vez de irem directamente pela rua do Brasil - este facto induz como possibilidade uma ciclovía nessa zona. De facto como se verifica na Figura 4.7 parece encontrar-se projectada tal ciclovía.

Verifica-se também que, com o circuito ciclável activo, algumas viagens ganham entre 7 e 8 minutos. Estas viagens são aquelas que utilizam o já sugerido arco que liga o Parque Verde Mondego à rotunda por baixo da Ponte da Europa, pois nessa situação os ciclistas já não têm de percorrer o outro caminho já antes referido, (*vide* Secção 4.5). É o caso por exemplo do percurso Pólo II – Coimbra A, que demora 18 minutos sem esse arco e 11 minutos com ele.

Um aspecto também relevante é a existência de algumas viagens que demoram muito mais tempo num sentido que no oposto. O caso mais flagrante é o percurso Praça da República – FEUC. Na realidade esse percurso é percorrido em 27 minutos num sentido e em apenas 3 minutos no sentido oposto. De facto a partir da Praça da República é necessário o ciclista deslocar-se até à Rua da Sofia para tomar o elevador 1, seguir até à Cruz de Celas, tomar o elevador 2 e finalmente chegar à FEUC; contudo, no sentido contrário temos uma descida relativamente curta. Outra das razões para a diferença temporal entre os dois percursos é o facto da velocidade considerada para os elevadores ser de apenas 0.5 m/s muito inferior à velocidade usual de bicicleta. Verifica-se que cerca de 40% das viagens num sentido duram no máximo mais 5 minutos que no sentido oposto. Contudo também se verifica que para outras 40 % das viagens a diferença de tempos nos dois sentidos anda entre os 10 e os 20 minutos – trata-se em geral de viagens que utilizam os elevadores.

Como se pode verificar na Figura 4.16, a maioria das viagens demora entre 10 e 15 minutos (entre 20% e 25%), podendo no máximo chegar a demorar 37 minutos, caso referente à deslocação Portela – Escola de Enfermagem com utilização de elevadores.

Por último convém referir que os tempos apresentados nas tabelas são valores indicativos, obtidos assumindo a circulação ciclável em velocidade cruzeiro, sem paragens nos cruzamentos, acelerações e travagens entre outros aspectos.

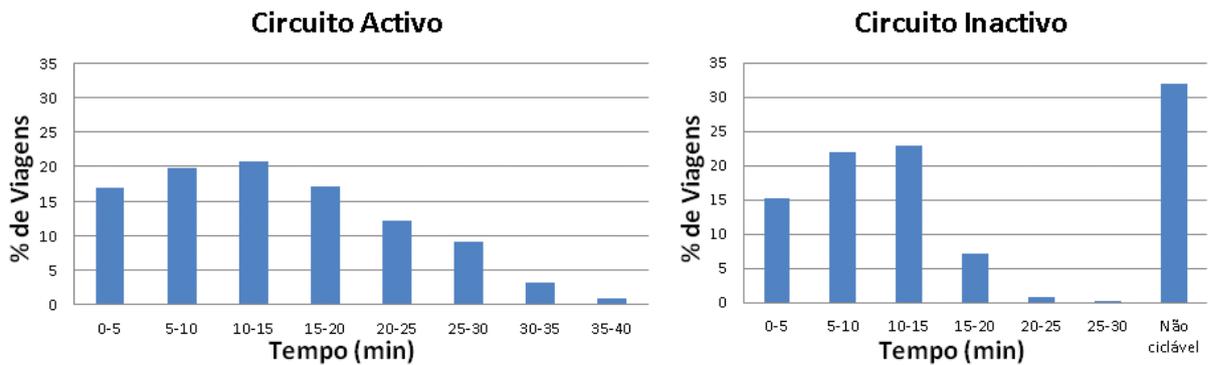


Figura 4.16 – Histogramas relativos aos tempos com circuito ciclável activo e inactivo

4.8.2 Alguns Percursos

Nas cartas seguintes, apresentam-se alguns dos percursos referentes à matriz OD onde se admite o uso do circuito ciclável.

Na Figura 4.17, apresentam-se os percursos de todos os pontos geradores, ida e volta, para a rotunda do Hospital e Pólo III.

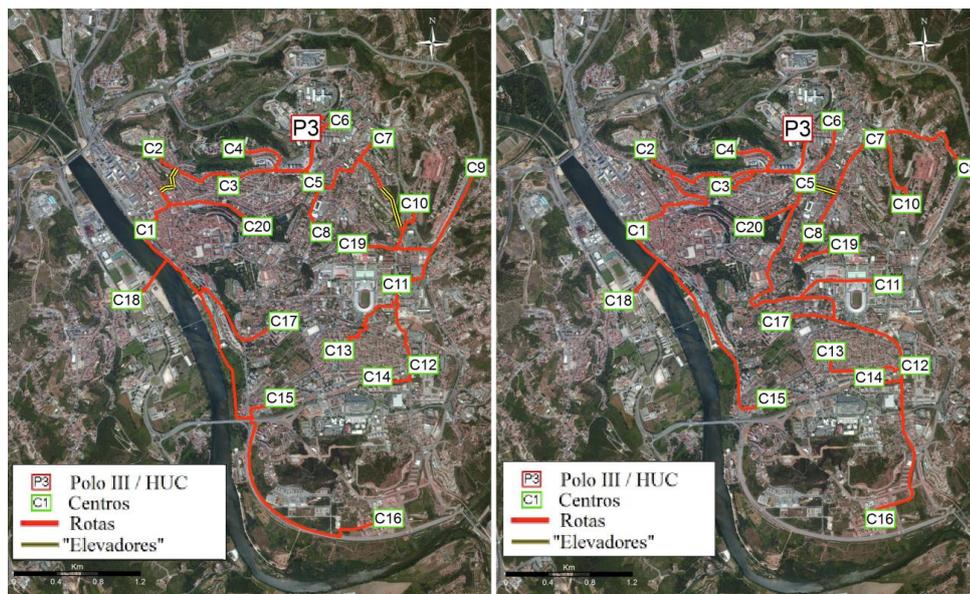


Figura 4.17 – Percursos nos sentidos Geradores - Pólo III e Pólo III - Geradores

Na Figura 4.18, apresentam-se os percursos de todos os pontos geradores de viagens, ida e volta, para o Pólo II, ponto localizado na rua do Departamento de Engenharia Mecânica.

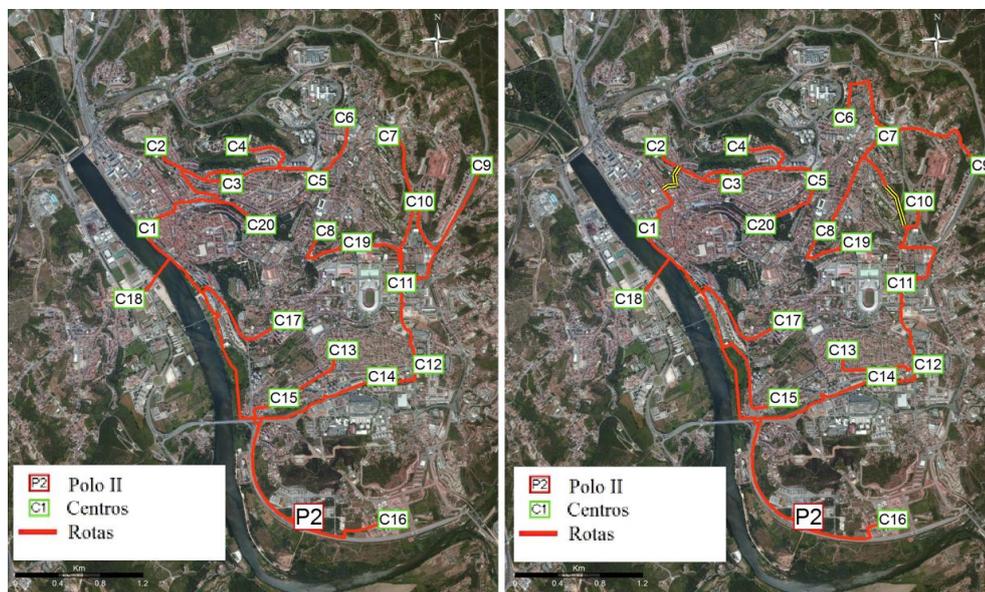


Figura 4.18 – Percursos nos sentidos Geradores - Pólo II e Pólo II - Geradores

Na Figura 4.19 há o aspecto peculiar, aliás já referido na secção 4.6, de se considerar dois pontos de acesso ao Pólo I - a escolha do ponto a considerar está muito dependente do local de partida e destino no Pólo I.

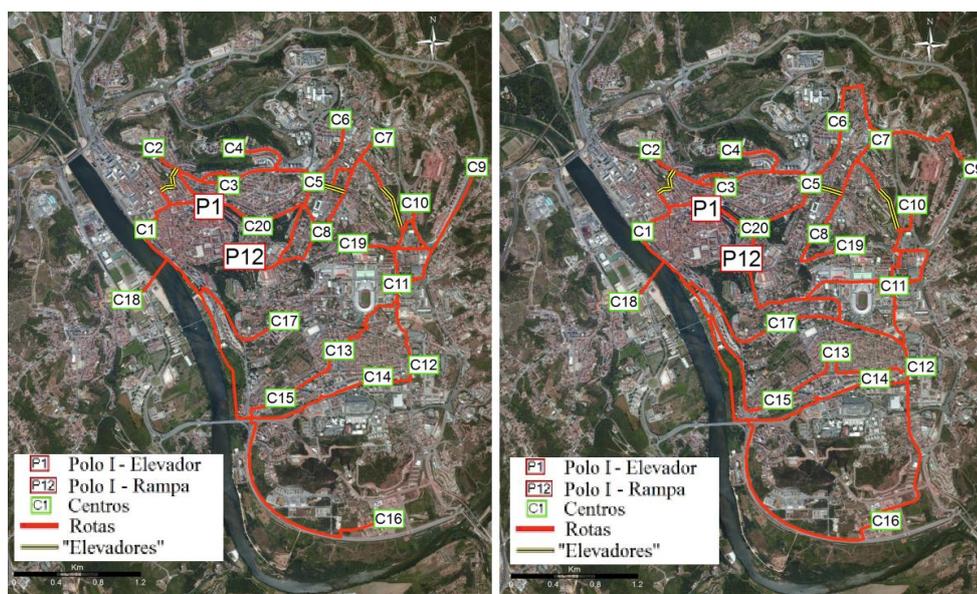


Figura 4.19 – Percursos nos sentidos Geradores - Pólo I e Pólo I - Geradores

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O uso de modos suaves de transporte está cada vez mais na ordem do dia, sendo actualmente uma das principais prioridades em termos de planeamento urbanístico. O desperdício energético associado aos movimentos pendulares, principalmente devido ao uso excessivo do transporte individual motorizado, é bem claro numa altura em que o planeta parece estar a dar sinais de que os limites se encontram ultrapassados. Outros problemas, como a poluição, tráfego ou mesmo o estilo de vida sedentário nas sociedades desenvolvidas, podem estar todos eles, em parte, associados ao uso excessivo do automóvel, provocando cada vez mais uma degradação profunda no estilo de vida dos espaços urbanos. A bicicleta apresenta-se desta forma como uma boa contribuição na ajuda à resolução destes problemas, principalmente para distâncias curtas.

No entanto é necessário as cidades adaptarem-se à existência deste modo de transporte, criando infra-estruturas para esse fim e realizando campanhas de promoção e incentivo ao seu uso. Existem, porém, algumas limitações físicas que podem levar à não utilização desse meio de transporte pela população, sendo a questão do relevo aquela que mais se aplica à cidade de Coimbra.

Apesar de Coimbra ser uma cidade peculiar no que toca ao relevo, tornando-a à partida uma cidade pouco amiga da bicicleta, tem a seu favor o facto de possuir uma elevada fracção de população jovem, em particular estudantes, que têm maior tendência a aceitar este modo de deslocação.

Porém, Coimbra não é caso único. Tem havido cidades no mundo que contornaram o problema de grandes desníveis, que aliás se coloca também em situações mais particulares, localizadas mesmo em zonas menos acidentadas. Por exemplo nos acessos ao Metro ou mesmo a túneis. Assim o declive em vez de dissuasor para este trabalho foi antes um elemento motivador e chave para muitas das conclusões obtidas.

Com base num modelo digital de superfície, e também num modelo digital de terreno, o primeiro cobrindo grande parte da cidade em particular o interior da sua circular externa, foco principal do estudo, começou-se por determinar os declives dos arcos da rede da cidade, sendo necessário em muitos casos proceder a alguns ajustes na rede.

Seguidamente, com base nos declives calculados e tendo em consideração a tabela AASHTO, procedeu-se a uma classificação dos arcos em relação aos respectivos declives, concluindo-se que 53% do comprimento total da rede tem declive inferior a 5%, valor esse que a tabela AASHTO apresenta como plenamente ciclável independentemente do comprimento.

Com auxílio do NA programado para o efeito, foram determinadas algumas zonas cicláveis, zonas essas caracterizadas por garantirem a circulação em ambos os sentidos entre quaisquer dois pontos no interior da sua zona. De realçar que a maior zona obtida que inclui, a zona à beira rio, Solum, Bairro Norton de Matos e Vale das Flores. Esta zona abrange 34% da área em estudo (representada no Anexo) e 44 % da população em estudo.

Porém as características de relevo da cidade ficaram também patentes neste zonamento, realçando três zonas desconexas, as quais, caso houvesse possibilidade de conexão entre elas, tornariam a cidade em grande parte ciclável. Considerou-se então a possibilidade de conexão dessas zonas a partir de dispositivos mecânicos auxiliares (designados genericamente por elevadores). Várias possibilidades existem para colocação desses dispositivos os quais exigirão um estudo mais profundo e orientado para esse fim específico.

Verificou-se que, com a existência de apenas um desses elevadores é possível ligar praticamente toda a cidade, pois este permite ir de bicicleta do ponto mais baixo da cidade junto ao rio ao ponto mais alto (Av. Dias da Silva, Olivais).

Porém, devido à extensão de alguns percursos preconizou-se a instalação de mais 2 elevadores, que permitiram a criação de um circuito no interior da cidade. A principal característica deste circuito é que ele é ciclável em ambos os sentidos, logo a área de influência de um ponto no circuito representa a permeabilidade de todo o circuito. A área obtida ocupa 65 % da área total em estudo e abrange cerca de 85% da população em estudo.

Também foi feito um estudo da possibilidade de integração da bicicleta com os transportes colectivos, em particular com o Metro projectado. Concluiu-se que a Linha do Hospital seria uma boa ajuda na ligação Av. Sá da Bandeira – Arcos do Jardim; já a Linha da Lousã, como se encontra numa zona totalmente ciclável não melhora muito a situação. No entanto o Metro não resolve o problema todo da cidade, pois não atinge o já referido ponto mais alto (Av. Dias da Silva, Olivais), o que deixaria por cobrir esta zona.

Por último tendo em conta a colocação da população e dos principais pólos atractores da cidade fez-se um estudo em matéria de tempos de percurso. Este estudo é apenas preliminar na medida que apenas foram consideradas velocidades de cruzeiro, sem ajuste relativamente a paragens como, por exemplo, cruzamentos. No entanto há que referir que os tempos obtidos

são bastante auspiciosos pois mesmo quando duplicados dão na sua maioria tempos aceitáveis para percursos pendulares de bicicleta.

Neste trabalho são apresentados também alguns percursos de pontos geradores para alguns atratores, tendo-se dado particular realce à particular situação da Alta Universitária, à qual, apesar de os elevadores criados não darem acesso directo ao local, é possível aceder de bicicleta quer ao já existente elevador do mercado (para peões), quer à zona dos Arcos do Jardim, pontos bastante próximos do destino pretendido.

Por último convém referir que o facto de o País estar a atravessar uma grave crise económica, deve ser encarado como uma possibilidade de mudança de hábitos e não como uma limitação. Na verdade hoje em dia as pessoas estão mais susceptíveis à possibilidade de circulação por modos suaves de transporte, muito devido aos elevados custos associados ao automóvel. Este facto em conjunto com a elevada população jovem existente na cidade pode funcionar como uma oportunidade no que diz respeito a mudanças de paradigmas de transporte na cidade, parecendo tornar pertinente a realização deste trabalho.

De notar, porém, que este se trata de um estudo preliminar e que outros estudos serão necessários. Como trabalho futuro e de aprofundamento deste tema, teremos uma melhor análise dos percursos obtidos, em particular no que respeita a cruzamentos, bem como a abordagem de políticas de incentivo a este modo transporte, não só na sua vertente infraestrutural (faixas cicláveis, acalmia de tráfego, semaforização adequada, posto de ajuda, etc.) mas também ao nível da promoção e consciencialização da população. É também aconselhável um estudo mais pormenorizado de soluções para dispositivos mecânicos bem como das suas localizações.

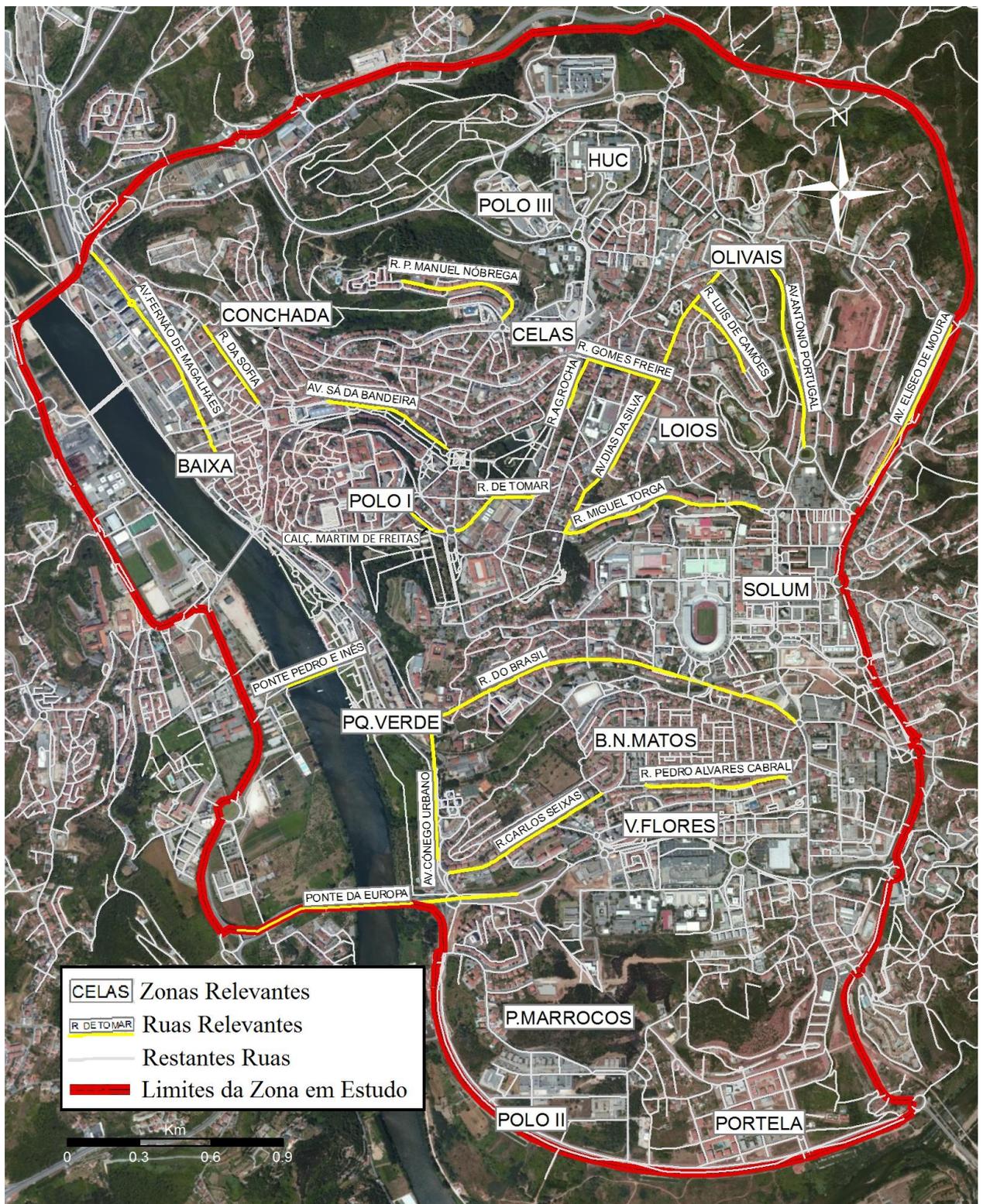
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO, (1999). “AASHTO Guide for the Development of Bicycle Facilities”, ISBN: 1-56051-102-8 (1999).
- Aronoff, S. (1989). “Geographic information systems: a management perspective”, Ottawa: DL Publications, 1989.
- Austroroads, (2011) . “Cycling Aspects of Austroroads Guides”, Australia
- Batabyal, A. e Nijkamp, P. (2013). “Ought a green citizen to bicycle or take public transport to work?”. *Ecological Economics* 86, 93–96 (2013).
- BYPAD, (2008). “Cycling, the European approach – Total quality management in cycling policy. Results and lessons of the BYPAD-project”.
- CEAP@ (2013). <http://www.isa.utl.pt/ceap/ciclovias/lisboa/>. Centro de Estudos de Arquitectura Paisagista - Universidade Técnica de Lisboa.
- CERTU, (2004). “Les zones 30 en France: Bilan des pratiques en 2000. 2004”. Centre d’Études sur les Réseaux, les Transports, L’urbanisme et les constructions publiques, France.
- Coutinho-Rodrigues, J., Tralhao, L., Alcada-Almeida, L., (2012). “Solving a location routing problem with a multiobjective approach: the design of urban evacuation plans”. *Journal of Transport Geography* 22, 206–218.
- CRITEMEB (1998), “Chinese Road Institute Traffic Engineering Manual Edit Board, 1998”. Traffic Engineering Manual. China Communications Press. Beijing.
- CROW (2007). “Design Manual for Bicycle Traffic”. Record no 25. Centre for Research and Contract Standardization in Civil and Traffic Engineering. C.R.O.W, Netherlands.
- Deloitte (2009). “Plano estratégico de Coimbra – Documento complementar”.
- ESRI@ (2013). <http://www.esri.com/>. Environmental Systems Research Institute (página internet oficial), EUA.
- European Commission (EC), (2010). “Eurobarómetro sobre políticas de transporte, 2007 e 2010”.
- European Commission (EC), (2000). “Cycling: the way ahead for towns and cities”. Directorate-General for the Environment.
- EUROSTAT (2011). “Energy, transport and environment indicators”, Luxembourg, 2011.
- Federal Highway Administration (FHWA), (2005). “FHWA Course on Bicycle and Pedestrian Transportation”, Instructor’s Version, U.S. Department of Transportation.

- Frank, L., Andresen, M., e Schmid, T. (2004). “Obesity relationships with community design, physical activity, and time spent in cars”. *American Journal of Preventive Medicine*, 27(2), 87 - 96.
- Google@ (2013). <http://maps.google.pt/>.
- INE@ (2013). <http://www.ine.pt/>. Instituto Nacional de Estatística (página internet oficial), Portugal.
- Íñiguez, J.I., de-la-Torre, A.I. e de-la-Torre I.I. (2012). *Human-Powered Vehicles – Aerodynamics of cycling*, Applied Aerodynamics, Dr Jorge Colman Lemer (Ed.), ISBN 978-953-51-0.611-1, In Tech.
- International Energy Agency (IEA), (2012). “Key World Energy Statistics”.
- Lovelace, R., Beck, S.B.M., Watson, M. e Wild, A. (2011). “Assessing the energy implications of replacing car trips with bicycle trips in Sheffield, UK”. *Energy Policy* 39, 2075–2087 2011.
- Martens, K. (2007). “Promoting bike-and-ride: The Dutch experience”. *Transportation Research Part A* 41, 326–338 (2007).
- Metro Mondego@ (2013). <http://www.metromondego.pt/>. Metro Mondego (página internet oficial), Coimbra.
- Newman, P. e Kenworthy, J.R. (1989). “Cities and automobile dependence: an international sourcebook”. Aldershot: Gower.
- Organization for Economic Co-operation and Development (OCDE), (2004). “National Policies to Promote Cycling” European Conference of the Ministers of Transport, Paris,
- Parkin, J. e Rotheram, J. (2010). “Design speeds and acceleration characteristics of bicycle traffic for use in planning, design and appraisal”, *Transport Policy* 17 (2010) 335-341.
- POMA@ (2013). <http://www.poma.net/en/news/index/view/id/7>. CycloCable
- Pucher, J. (1997). “Bicycling Boom in Germany: A Revival Engineered by Public Policy” *Transportation Quarterly*, Vol. 51, No.4 Fall 1997 (31-46).
- Pucher, J. e Buehler, R. (2008). “Cycling for Everyone: Lessons from Europe”. *Transportation Research Record*, vol 2074, p.58-65, 2008.
- Pucher, J. e Buehler, R. (2009). “Integrating Bicycling and Public Transport in North America”. *Journal of Public Transportation*, Vol. 12 No 3, 2009.
- Suzuki, K., Kanda, Y., Doic, K. e Tsuchizaki N. (2012) “Proposal and Application of a New Method for Bicycle Network Planning”. 8th Int. Conf. on Traffic and Transportation Studies Chagsha, China.
- Trampe (2013). <http://trampe.no/>. Trampe CycloCable (página internet oficial), Trondheim
- Transportes, Inovação e Sistemas (TIS), (2009). “Inquérito à mobilidade na área de influência do sistema de mobilidade do mondego – Relatório 4 – Versão final, apresentação dos resultados”.
- TRB (2003). “Transit Capacity and Quality of Service Manual – 2ª Ed. Appendix A – Effect of Grade on Distance Walked”. Transport Research Board, 2003.

- Trunk, G. (2011). “Gesamtwirtschaftlicher vergleich von pkw – und radverkehr. Ein beitrage zur nachhaltigkeitsdiskussion”. Masterarbeit am institut fur verkehrswesen der Universitat fur Bodenkultur, Wien.
- Wang, D., Feng, T. e Liang, C. (2008). “Research on bicycle conversion factors”, *Transport Research Part A* 42 (2008) 1129-1139.
- Wijnen, V., Verhoeff, Hank e Bruggen, V., (1995) “The exposure of cyclists, car drivers and pedestrians to traffic-related air pollutants”. *Int. Occup. Environ. Health* 67: 187-193.
- Woodcock, J., Banister, D., Edwards, P., Prentice, A. e Roberts, I. (2007). “Energy and transport”. *Lancet*, Vol. 370.
- World Health Organization (WHO), (2010). “Global Recommendations on Physical Activity for Health”.

ANEXO



Anexo – Toponímia das principais zonas e ruas referidas no trabalho