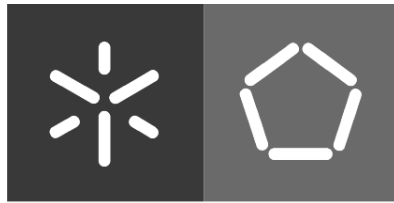


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Vitor Daniel Dias de Sousa

**CARACTERIZAÇÃO DE
PAVIMENTOS EM REDES DE
INFRAESTRUTURAS PEDONAIS**

Setembro de 2013



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Vitor Daniel Dias de Sousa

**CARACTERIZAÇÃO DE
PAVIMENTOS EM REDES DE
INFRAESTRUTURAS PEDONAIS**

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados em Engenharia
Civil

Trabalho efetuado sob a orientação de
Doutor Hugo Manuel Ribeiro Dias da Silva
Doutora Elisabete Fraga Freitas

Setembro de 2013

AGRADECIMENTOS

A elaboração de uma dissertação é um trabalho solitário, que absorve muitas horas de trabalho e dedicação. Com o apoio e disponibilidade de diversas pessoas, todo este processo se tornou facilitado e os obstáculos a ultrapassar menores.

Todo o meu apreço e gratidão vão para as seguintes pessoas:

Aos meus orientadores, o Doutor Hugo Manuel Ribeiro Dias da Silva e Doutora Elisabete Fraga de Freitas, por todo o apoio, conhecimento transmitido e disponibilidade demonstrada. A eles quero expressar a minha sincera gratidão pelo estímulo, orientação e dedicação durante a elaboração deste trabalho.

Ao técnico do Laboratório de Engenharia Civil o Engenheiro Carlos Palha, por toda a amizade, disponibilidade e horas perdidas na execução dos ensaios deste trabalho.

Este trabalho só foi possível graças às condições e meios disponibilizados pelo Grupo de Vias de Comunicação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho.

À minha família e em especial aos meus pais, por todo o carinho, paciência e ajuda dada nos momentos em que me sentia menos motivado.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer à Cindy por todo o apoio, preocupação, ajuda e força dados. Com o apoio dela consegui recolher as forças necessárias para levar este trabalho até ao fim.

A todos eles um simples obrigado não chega para expressar toda a minha gratidão.

Caracterização de pavimentos em redes de infraestruturas pedonais

RESUMO

Em meio urbano existe uma panóplia de diferentes condições de pavimentação. Este estudo aborda estas diferentes condições de pavimentação, particularizando as referentes às redes de infraestruturas pedonais. A importância dos passeios é enorme, não só porque qualquer viagem começa com uma componente pedonal, mas também devido à capacidade que uma rede pedonal tem por si só em revitalizar toda uma cidade.

Este trabalho tem como objetivo principal a caracterização de pavimentos em redes de infraestruturas pedonais. Nesse sentido pretende-se avaliar a qualidade funcional (textura, atrito, irregularidade) e a reflexão da luz pública na superfície do pavimento. Aspira-se de igual modo perceber no final deste trabalho qual o material que melhor cumpre os requisitos funcionais nos passeios e melhor qualidade oferece aos peões.

Após uma pesquisa bibliográfica sobre a temática abordada e a escolha de diferentes trechos a estudar, foram realizados ensaios *in situ* de caracterização funcional (mancha de areia, pêndulo britânico, régua de 3 metros instrumentada e determinação da reflexão do pavimento). Com estes ensaios pretende-se caracterizar a textura, atrito, irregularidade e reflexão da superfície do pavimento.

Com base no tipo de material da superfície, pode-se concluir que os pavimentos de passeios em lajeado de granito apresentam maior profundidade média da textura, porém também são os que oferecem maior irregularidade transversal. Os passeios em material betuminoso são os que apresentam menor profundidade média da textura, oferecem uma superfície com menor irregularidade longitudinal e transversal, mas têm menor capacidade de reflexão. Os passeios em lajetas pré-fabricadas de betão oferecem maior atrito, enquanto os passeios em calcário apresentam menor resistência ao deslizamento, maior irregularidade longitudinal e maior capacidade de reflexão. Estas conclusões serão um importante apoio à seleção de materiais mais adequados a cada uso que se pretenda em casos futuros de pavimentação de passeios.

PALAVRAS-CHAVE: Passeios, reflexão do pavimento, Pavimentação, Caracterização funcional, Infraestruturas pedonais

Characterization of pavements in pedestrian infrastructure networks

ABSTRACT

In urban areas there is a wide range of different pavement conditions. This study shows those different paving conditions, particularizing pedestrian infrastructure networks. The importance of footpath is huge, not only because every journey begins with a pedestrian component, but also due to the ability of a pedestrian network has itself to revitalize an entire city.

This work has as a main goal the characterization of pavements in pedestrian infrastructure networks. Accordingly it is intend to evaluate the functional quality (texture, friction, unevenness) and the reflection of street light on the pavement surface. Furthermore, at the end of this thesis it is intended to understand which material suits the best the functional requirements on the footpaths and better quality offers to pedestrians.

After setting the state of the art and the choice of different sections to study, in situ tests of functional characterization (sand patch, British pendulum, instrumented 3 meter straight edge and pavement reflection) were performed. With these tests texture, friction, unevenness and reflection were assessed.

Based on each surface material, one can conclude that footpath pavements on granite slabs has higher mean texture depth, but also have more transversal irregularity. The footpaths made by asphalt material are those with lower mean texture depth. They provide lower unevenness, but have less reflection capacity. The footpath paved in prefabricated concrete slabs provides more friction, while the footpath in limestone has lower friction, more unevenness and better capacity for reflection. These findings will be an important support to the selection of the most suitable materials to use in future cases of footpath paving.

KEY WORDS: Footpath, pavement reflection, Paving, Functional Characterization, Pedestrian infrastructures

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Enquadramento Temático	1
1.2	Objetivos da Dissertação	2
1.3	Estrutura da Dissertação	3
2	REVISÃO DO ESTADO DE ARTE	5
2.1	Pavimentação em Zona Urbana	5
2.1.1	Espaços de Circulação Motorizada	5
2.1.2	Espaços de Circulação Mista.....	6
2.2	Ciclovias	8
2.2.1	Tipos de Pavimentos de Ciclovias	8
2.2.2	Técnicas Construtivas de Pavimentos de Ciclovias	9
2.2.4	CrITÉrios Relativos à Largura	12
2.2.5	Sinalização e Iluminação.....	13
2.2.6	Importância da Manutenção das Ciclovias.....	16
2.3	Passeios.....	16
2.3.1	Tipos de Pavimentos de Passeios	17
2.3.2	Aspetos mais Importantes na Escolha de Pavimentos Pedonais	20
2.3.3	Métodos Construtivos Utilizados em Passeios.....	21
2.3.4	Aspetos a ser Cumpridos na Largura dos Passeios	27
2.3.5	Sinalização e Iluminação.....	28
2.3.6	Caraterização Funcional de Passeios.....	30
3	SELEÇÃO DE TRECHOS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS	35
3.1	Introdução	35
3.2	Descrição dos Trechos Experimentais.....	35
3.2.1	Trecho em Lajetas Pré-Fabricadas de Betão	37

3.2.2	Trecho em Cubos de Calcário.....	38
3.2.3	Trechos em Material Betuminoso.....	39
3.2.4	Trecho em Lajeado de Granito	41
3.2.5	Trecho em Blocos de Betão	42
3.3	Métodos de Ensaios Utilizados	43
3.2.1	Método da Mancha de Areia.....	43
3.2.2	Método do Pêndulo Britânico	45
3.2.3	Avaliação da Irregularidade com Régua de 3 Metros Instrumentada.....	46
3.2.4	Método para Determinação da Reflexão do Pavimento	49
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	53
4.1	Método da Mancha de Areia	53
4.1.1	Trecho em Lajetas Pré-Fabricadas de Betão.....	53
4.1.2	Trecho em Cubos de Calcário.....	54
4.1.3	Trecho em Betuminoso	56
4.1.4	Trecho em Lajeado de Granito	58
4.1.5	Trecho em Blocos de Betão	60
4.1.6	Comparação dos Resultados dos Vários Trechos	61
4.2	Método do Pêndulo Britânico	62
4.2.1	Trecho em Lajetas Pré-Fabricadas de Betão.....	62
4.2.2	Trecho em Cubos de Calcário.....	63
4.2.3	Trecho em Betuminoso	65
4.2.4	Trecho em Lajeado de Granito	66
4.2.5	Trecho em Blocos de Betão	67
4.2.6	Comparação dos Resultados	68
4.3	Avaliação da Irregularidade com Régua de 3 Metros Instrumentada	70
4.3.1	Trecho em Lajetas Pré-Fabricadas de Betão.....	70
4.3.2	Trecho em Cubos de Calcário.....	72

4.3.3 Trecho em Betuminoso	76
4.3.4 Trecho em Lajeado de Granito.....	80
4.3.5 Trecho em Blocos de Betão	82
4.3.6 Comparação dos Resultados de Irregularidade	84
4.4 Método para Determinação da Reflexão do Pavimento <i>In Situ</i>	87
4.4.1 Trecho em Lajetas Pré-Fabricadas de Betão	87
4.4.2 Trecho em Cubos de Calcário	89
4.4.3 Trecho em Betuminoso	90
4.4.4 Trecho em Lajeado de Granito.....	93
4.4.5 Trecho em Blocos de Betão	94
4.4.6 Comparação dos Resultados de Reflexão Medidos <i>in Situ</i>	95
4.5 Método para Determinação da Reflexão dos Materiais em Laboratório	97
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
5.1 Conclusões.....	99
5.2 Estudos Futuros	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de um PBB (ADAH, 2004, citado em Morgado, 2008)	7
Figura 2 - Secção tipo de uma ciclovia em betão moldado (Bastos, 2013).....	10
Figura 3 - Etapas de execução de uma ciclovia em betão moldado em obra	11
Figura 4 - Exemplo de um pavimento em material betuminoso (CEAP, 2005).....	11
Figura 5 - Exemplo de uma secção de uma ciclovia de dois sentidos com indicação da largura (NCDOT, 1994).....	13
Figura 6 - Exemplo de sinalização de uma ciclovia (Adaptado de FHWA, 2002)	15
Figura 7 - Exemplo de um passeio em betão (Adaptado de SCDFMCP, 2013)	18
Figura 8 - Detalhe da secção transversal de um passeio em material betuminoso (Adaptado de CPA, 2000).....	18
Figura 9 - Exemplo de um passeio em tijolo (Adaptado de CS, 2009)	19
Figura 10 - Exemplo de um pavimento em cubos de granito (MVNG, 2013)	19
Figura 11 - Estrutura de um pavimento em lajetas pré-fabricadas de betão (ABCP, 2009).....	22
Figura 12 - Execução, passo a passo, de um pavimento em lajetas pré-fabricadas de betão para passeios (CREA-BA, 2009)	22
Figura 13 - Estrutura de um pavimento em cubos de granito (MVNG, 2013).....	23
Figura 14 - Estrutura tipo de um pavimento com blocos de betão (Morgado, 2008).....	24
Figura 15 - Preenchimento das juntas (a) manualmente (ADAH, 2004, citado em Morgado, 2008), (b) preenchimento e compactação através de meios mecânicos (INTERPAVE, 2008, citado em Morgado, 2008)	26
Figura 16 - Estrutura de um pavimento em material betuminoso (MVNG, 2013)	27
Figura 17 - Localização do trecho de passeio construído com lajetas pré-fabricadas de Betão	37
Figura 18 - a) Padrão de assentamento, b) Diferença entre as lajetas pré-fabricadas de Betão	38
Figura 19 - Localização do trecho de passeio construído com Cubos calcário	38
Figura 20 - Aspeto do pavimento no trecho em cubo calcário	39
Figura 21 - Localização do trecho de passeio construído em betuminoso (Guimarães)	39
Figura 22 - Aspeto do pavimento no trecho em betuminoso (Guimarães).....	40
Figura 23 - Fissuras no passeio junto às árvores	40
Figura 24 - Localização do trecho de passeio construído em betuminoso (Braga).....	40

Figura 25 - Aspeto do pavimento no trecho em betuminoso (Braga).....	41
Figura 26 - Degradações no trecho em betuminoso (Braga)	41
Figura 27 - Localização do trecho de passeio construído em lajeado de granito.....	41
Figura 28 - Aspeto do pavimento no trecho em lajeado de granito	42
Figura 29 - Localização do trecho de passeio construído com blocos de betão	42
Figura 30 - Aspeto do pavimento no trecho em blocos de betão	43
Figura 31 - Exemplo do método” mancha de areia”	43
Figura 32 - Exemplo da aplicação do método de ensaio da “mancha de areia” num trecho.....	44
Figura 33 - Pêndulo britânico utilizado para medir o atrito	45
Figura 34 - Carrinho com sensor na régua de 3 metros instrumentada.....	46
Figura 35 - Medição longitudinal com a régua de 3 metros instrumentada.....	47
Figura 36 - Medição transversal com a régua de 3 metros instrumentada.....	47
Figura 37 - Representação dos resultados obtidos com a medição dos desníveis pelo sensor longitudinalmente num troço de 3 metros	48
Figura 38 – Representação da diferença do desnível do perfil expectável e do perfil real num troço de 3 metros.....	48
Figura 39 - Equipamento de medição <i>J18 Lumacolor II Photometer</i>	49
Figura 40 - Acessório para medição da iluminância <i>J1811 Illuminance Head</i>	50
Figura 41 - Acessório para medição da luminância <i>J1803 Luminance Head</i>	50
Figura 42 - Materiais usados nas medições em laboratório	52
Figura 43 - Profundidade média da textura no trecho com lajetas pré-fabricadas de Betão	53
Figura 44 - a) Diferença entre as Lajetas e b) Pormenor do ensaio de mancha de areia	54
Figura 45 - Localização dos pontos de ensaio no trecho em lajetas pré-fabricadas de betão	54
Figura 46 - Profundidade média da textura do trecho em cubos de calcário	54
Figura 47 - Ensaio de mancha de areia e padrão de assentamento disforme no trecho em cubos de calcário	55
Figura 48 - Localização dos pontos de ensaio no trecho em cubos de calcário.....	55
Figura 49 - Profundidade média da textura do trecho em Betuminoso (Guimarães)	56
Figura 50 - Ensaio da Mancha de areia no trecho em betuminoso (Guimarães)	56
Figura 51 - Localização dos pontos de ensaio no trecho Betuminoso (Guimarães).....	57
Figura 52 - Localização dos pontos de ensaio no trecho Betuminoso (Braga).....	57

Figura 53 - Profundidade média da textura do trecho em Betuminoso (Braga).....	57
Figura 54 - a) Condições heterogêneas de pavimentação; b) Ensaio da mancha de areia em pavimento betuminoso (Braga).....	58
Figura 55 - Profundidade média da textura do trecho em Lajeado de Granito	58
Figura 56 - Localização dos pontos de ensaio no trecho em Lajeado de Granito	59
Figura 57 - a) Heterogeneidade na rugosidade das lajes de granito e b) Pormenor do ensaio de mancha de areia	59
Figura 58 - Profundidade média da textura do trecho em Blocos de Betão	60
Figura 59 - a) Diferença na textura dos blocos de betão e b) Condições de pavimentação juntos às tampas de saneamento	60
Figura 60 - Localização dos pontos de ensaio no trecho em Blocos de Betão.....	61
Figura 61 - Valor médio da profundidade média da textura obtida por trecho	62
Figura 62 - Atrito no trecho em Lajetas Pré-Fabricadas de Betão	63
Figura 63 - Ensaio de Pêndulo Britânico.....	63
Figura 64 - Atrito no trecho em Cubos de Calcário	64
Figura 65 - Proximidade do primeiro ponto de ensaio a uma esplanada de um estabelecimento comercial.....	64
Figura 66 - Atrito no trecho em Betuminoso (Guimarães).....	65
Figura 67 - Início do trecho e pormenor do acesso a garagem.....	65
Figura 68 - Atrito no trecho em Betuminoso (Braga)	66
Figura 69 - Atrito no trecho em Lajeado de Granito	67
Figura 70 - a) Heterogeneidade das lajes que constituem o trecho e b) ensaio do pêndulo britânico	67
Figura 71 - Atrito no trecho em Blocos de Betão.....	68
Figura 72 - Média dos valores de PTV do atrito para os vários trechos em estudo	69
Figura 73 - Valores de IRP_L ao longo do trecho em lajetas pré-fabricadas de betão	70
Figura 74 - Ensaio realizado numa zona com tampa.....	71
Figura 75 - Valores de IRP_{L50} ao longo do trecho em lajetas pré-fabricadas de betão	71
Figura 76 - Valores de IRP_T do trecho em lajetas pré-fabricadas de betão no perfil transversal	72
Figura 77 - Valores de IRP_L ao longo do trecho em cubos de calcário.....	73
Figura 78 - Diferença de inclinação no trecho em cubos de calcário.....	73
Figura 79 - Diferença nas inclinações e existência de dispositivos de escoamento	74
Figura 80 - Valores de IRP_{L50} ao longo do trecho em cubos de calcário.....	74

Figura 81 - Valores de IRP_T do trecho em cubos de calcário no perfil transversal	75
Figura 82 - Diferença das inclinações transversais no ponto de ensaio 1	75
Figura 83 - Valores de IRP_L ao longo do trecho em betuminoso (Guimarães)	76
Figura 84 - Valores de IRP_{L50} ao longo do trecho em Betuminoso (Guimarães).....	76
Figura 85 - Valores de IRP_T no trecho em betuminoso (Guimarães) a nível transversal	77
Figura 86 - Valores de IRP_L ao longo do trecho em betuminoso (Braga)	78
Figura 87 - Zona irregular devido a deformações no trecho	78
Figura 88 - Valores de IRP_{L50} ao longo do trecho em betuminoso (Braga)	79
Figura 89 - Valores de IRP_T do trecho em betuminoso (Braga) a nível transversal.....	79
Figura 90 - Zona irregular a nível transversal devido a degradação no trecho.....	80
Figura 91 - Valores de IRP_L ao longo do trecho em lajeado de granito	80
Figura 92 - Valores de IRP_{L50} ao longo do trecho em lajeado de granito	81
Figura 93 - Valores de IRP_T no trecho em lajeado de granito a nível transversal	81
Figura 94 - Valores de IRP_L ao longo do trecho em blocos de betão	82
Figura 95 - Zona irregular devido a uma tampa de águas pluviais	82
Figura 96 - Valores de IRP_{L50} ao longo do trecho em blocos de betão	83
Figura 97 - Valores de IRP_T do trecho em blocos de betão a nível transversal	83
Figura 98 - Zonas irregulares devido a degradação e presença de tampas de águas pluviais	84
Figura 99 - Análise comparativa dos valores médios de IRP_L dos vários trechos.....	85
Figura 100 - Análise comparativa dos valores médios de IRP_{L50} dos vários trechos.....	85
Figura 101 - Esquema da localização dos pontos de ensaio no trecho em lajetas pré- fabricadas em betão	87
Figura 102 - Existência de árvores que bloqueiam a luz ao longo do trecho	88
Figura 103 - Orientação dos sistemas de iluminação apenas para a via de tráfego	89
Figura 104 - Boas condições de iluminação presentes no trecho	90
Figura 105 - Esquema da localização dos pontos de ensaio no trecho betuminoso (Guimarães).....	90
Figura 106 - Condições de iluminação razoáveis no trecho de betuminoso em Guimarães	91
Figura 107 - Esquema da localização dos pontos de ensaio no trecho betuminoso (Braga).....	91
Figura 108 - Má visibilidade presente no trecho em pavimento Betuminoso (Braga)	92

Figura 109 - Esquema da localização dos pontos de ensaio no trecho em lajeado de granito.....	93
Figura 110 - Iluminação presente no trecho em lajeado de granito.....	93
Figura 111 - Esquema da localização dos pontos de ensaio no trecho em blocos de betão.....	94
Figura 112 - Iluminação presente no trecho em blocos de betão	95
Figura 113 - Análise comparativa dos resultados dos ensaios para determinação da iluminância	95
Figura 114 - Análise comparativa dos resultados dos ensaios para determinação da luminância.....	96
Figura 115 - Análise comparativa da reflexão de diferentes tipos de materiais.....	97

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Diferentes tipos de pavimentos para ciclovias (Macedo <i>et al.</i> , 2008).....	9
Quadro 2 - Recomendações técnicas para as infraestruturas cicláveis (APA, 2010).....	13
Quadro 3 - Exemplo de sinalização de ciclovias em Portugal (Macedo <i>et al.</i> , 2008).....	14
Quadro 4 - Parâmetros para a Avaliação das Tipologias de Pavimento (Pimenta, 2008).....	20
Quadro 5 - Largura mínima de passeios (CCDRN, 2008)	28
Quadro 6 - Dados de tipos de acidentes com veículos motorizados com base nos níveis de iluminação (Sullivan <i>et al.</i> , 2006)	29
Quadro 7 - Valores de referência do ensaio do pêndulo britânico (UKSRG, 2005)	32
Quadro 8 - Classificação da textura de um pavimento (Bernucci <i>et al.</i> , 2007 citado em ABPv, 2009).....	32
Quadro 9 - Caracterização dos trechos analisados neste trabalho	36
Quadro 10 - Análise comparativa da irregularidade transversal dos vários trechos	86
Quadro 11 - Valores de iluminância e luminância no trecho em lajetas pré-fabricadas de betão	88
Quadro 12 - Valores de iluminância e luminância no trecho em Cubos de Calcário.....	89
Quadro 13 - Valores de iluminância e luminância no trecho em Betuminoso (Guimarães).....	91
Quadro 14 - Valores de iluminância e luminância no trecho em Betuminoso (Braga).....	92
Quadro 15 - Valores de iluminância e luminância no trecho em lajeado de granito.....	93
Quadro 16 - Valores de iluminância e luminância no trecho em blocos de betão	94
Quadro 17 - Resultados do ensaio para determinação da iluminância e luminância em laboratório	98

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento Temático

Em meio urbano assiste-se a um grande leque de opções de transporte para a deslocação das populações. Como suporte desses meios têm-se os pavimentos, que são fundamentais para garantir uma mobilidade adequada, quer aos veículos, quer aos peões.

Ao longo do século XX os padrões de mobilidade sofreram alterações marcantes sendo o automóvel, atualmente, o meio de transporte mais utilizado, consequência do aumento exponencial da motorização, associado ao aumento, muitas vezes desregrado, da dispersão da urbanização. A este facto somam-se ainda os grandes investimentos feitos ao nível das infraestruturas rodoviárias que, não obstante a melhoria das acessibilidades proporcionadas, têm contribuído para o domínio do transporte individual em meio urbano, em detrimento do transporte público e outros modos como o pedonal e o ciclável (IMTT, 2011).

O espaço público é o espelho desta situação, onde é visível o desequilíbrio da afetação de espaços dos diferentes modos de deslocação e onde o peão se tornou o elemento mais prejudicado, vendo, progressivamente, as necessárias condições de acessibilidade (IMTT, 2011), segurança e conforto diminuírem.

É de ressaltar que todas as deslocações iniciam-se e terminam com uma componente pedonal e que possuem um peso significativo no total das viagens efetuadas (APA, 2010), com particular relevância para as menos extensas. Nesse sentido porquê continuar a dar tanta importância à qualidade oferecida pelas estradas e negligenciar a importância do sistema pedonal?

Dado todo este peso das deslocações pedonais, é essencial realizar um maior investimento na qualidade e no planeamento das infraestruturas pedonais, por forma a equilibrar a malha de transportes urbana. Esse investimento terá obrigatoriamente de passar pela melhoria das características funcionais dos passeios.

Em Portugal, e um pouco por todo o Mundo, muitos dos trechos pedonais são construídos com pouco critério, usando por vezes materiais que sobram de obras realizadas nas estradas e que não são os mais adequados. Isso resulta em passeios com problemas tanto a nível funcional como estrutural. É deveras importante a existência de passeios com uma boa qualidade funcional da sua superfície, que oferecerá aos peões uma superfície segura, confortável. No século onde o aumento exponencial da população da terceira idade constituirá um problema social (ANF, 2008), e estando essa faixa etária associada a maiores riscos de quedas (Gryfe *et al.*, 1977), a existência de passeios seguros e confortáveis contribuirá para que os mesmos possam ser considerados “pontes de ligação” seguros na mobilidade urbana.

Importa assim estudar se a beleza estética que alguns materiais oferecem no ambiente urbano, também garantem passeios com um desempenho adequado às suas funções. De facto, muitas soluções de construção de passeios são estudadas apenas em termos estéticos, e não em termos de segurança, resultando em várias quedas enquanto se caminha (Berg *et al.*, 1997).

Em suma, andar a pé apresenta inúmeros benefícios ambientais, económicos e sociais diretos, do ponto de vista individual, e indiretos, do ponto de vista da comunidade (IMTT, 2011). Então porquê continuar a relevar para segundo plano a importância das redes de infraestruturas pedonais, dada a sua importância para a sociedade e para o indivíduo?

1.2 Objetivos da Dissertação

Por forma a diminuir o desequilíbrio da afetação de espaços dos diferentes modos de deslocação no meio urbano, os gastos com o combustível e a poluição atmosférica, importa substituir o automóvel por modos de transporte considerados sustentáveis. Nesse sentido é importante o recurso a modos de transporte mais eficientes do ponto de vista energético e ambiental, onde os modos suaves como o pedonal e o ciclável desempenham um papel insubstituível (APA, 2010) em viagens de curta distância.

Diante desta realidade, este trabalho tem por objetivo principal a caracterização de pavimentos em redes de infraestruturas pedonais, de modo a avaliar qual o seu estado em diferentes trechos com diversos materiais.

Nesse sentido pretende-se avaliar a qualidade funcional (textura, atrito, irregularidade) e a reflexão da luz pública na superfície do pavimento, em diferentes tipos de pavimentos pedonais, construídos com diferentes materiais e com diferentes estados de degradação, por forma a se compreender quais os que oferecem maiores garantias aos peões. Como se trata de um tema ainda pouco estudado pela comunidade científica e com pouca documentação existente, a avaliação da qualidade funcional será realizada por comparação entre os resultados obtidos nos diferentes trechos, sendo que a validade dos resultados se aplica, nesta fase, apenas dentro do âmbito do estudo. No entanto, este contributo é importante para se definir uma estratégia futura de avaliação da qualidade dos pavimentos de infraestruturas pedonais ao nível da rede.

Este tema que tem vindo a ganhar maior relevância nos dias de hoje, com vários programas da União Europeia a incentivar este conceito de mobilidade sustentável, como o pedonal e o ciclável, devido em grande parte ao contexto social, ambiental e económico que vivemos. O interesse do estudo da qualidade funcional dos passeios prende-se com o impacto destes na qualidade do caminhar e na redução do número de quedas e de acidentes que advêm desse facto e que implicam despesas significativas em termos médicos e socioeconómicos (Alexander *et al.*, 1992), e principalmente na fomentação do caminhar como modo de transporte em curtas distâncias em substituição do veículo automóvel.

1.3 Estrutura da Dissertação

A dissertação está organizada em cinco capítulos. No primeiro capítulo deste trabalho apresenta-se o enquadramento do tema, seguido de uma breve descrição sobre a importância da pavimentação em meio urbano, particularmente das zonas pedonais. Por fim são descritos os objetivos a atingir com a presente dissertação e indica-se a estrutura deste trabalho.

No segundo capítulo realiza-se uma revisão do estado de arte sobre a temática em estudo. Abordam-se os diferentes espaços de pavimentação em meio urbano, seguidos de uma abordagem teórica sobre os métodos construtivos, tipos de pavimentação e alguns aspetos a ter em conta, tanto para ciclovias como para passeios. São de igual modo abordadas as principais características funcionais a garantir para a construção de um passeio seguro, confortável para os peões.

No Capítulo 3 faz-se uma descrição dos trechos experimentais estudados nesta dissertação, e apresentam-se os diversos procedimentos experimentais realizados para se avaliar as características funcionais dos mesmos.

No Capítulo 4 apresentam-se e analisam-se todos os resultados obtidos nos ensaios realizados durante o trabalho de Mestrado.

Finalmente, no Capítulo 5 apresentam-se as principais conclusões obtidas na presente dissertação, assim como uma breve referência a trabalhos futuros a realizar na continuação deste trabalho.

2 REVISÃO DO ESTADO DE ARTE

2.1 Pavimentação em Zona Urbana

Em zona urbana assiste-se a um vasto leque de infraestruturas viárias, que são o suporte dos diferentes modos de transporte à disponibilização dos cidadãos. Estas diferem entre si, principalmente, devido ao tipo de transporte e de utilização que pretendem servir. Desse modo, existem diferenças entre várias infraestruturas de circulação da zona urbana, onde cada qual é única e deverá ser construída para satisfazer um conjunto de critérios estruturais e funcionais para responder às ações a que serão sujeitas.

Este vasto leque de locais de circulação compreende:

- Infraestruturas rodoviárias, que necessitam de uma pavimentação com maior capacidade de carga para suportar os veículos que transitam dentro da malha urbana;
- Infraestruturas pedonais e cicláveis que necessitam de pavimentos mais virados para a qualidade funcional da sua superfície, e mesmo beleza estética para se enquadrarem na arquitetura urbana, e não tão volvidos para aguentarem grandes cargas, e;
- Infraestruturas que possuem uma utilização mista, porque servem quer veículos quer peões.

2.1.1 Espaços de Circulação Motorizada

Os pavimentos rodoviários são os espaços por onde circulam os veículos motorizados. A principal função destes é assegurar uma superfície de rolamento que permita a circulação dos veículos com comodidade e segurança, durante um determinado período, sob ação das ações do tráfego, e nas condições climáticas que ocorrem (Santos, 2010; INIR, 2012).

Um pavimento rodoviário deve possuir duas funções: a funcional e a estrutural. A primeira é relacionada com as exigências dos utentes, nomeadamente o conforto e a segurança de circulação. A segunda função é relacionada com a capacidade do pavimento para suportar as cargas dos veículos sem sofrer deformações para além de determinados valores limite (Ferreira, 2009).

Os pavimentos podem ser classificados em três tipos: pavimentos rígidos, semirrígidos e flexíveis, sendo estes últimos os mais comuns em Portugal. Os pavimentos diferem entre si essencialmente na constituição e no modo de funcionamento, mas também podem distinguir-se quanto à forma de degradação das cargas. Nos pavimentos flexíveis a degradação das tensões geradas pelo tráfego ocorre mais em profundidade, atingindo as camadas mais profundas, enquanto nos pavimentos rígidos, devido à sua constituição, a degradação de tensões é mais superficial. Esta diferença deve-se sobretudo às características geométricas e mecânicas dos materiais utilizados nas camadas que constituem os dois tipos de pavimentos (Antunes, 2012).

Visto que este trabalho não se debruça essencialmente sobre este modo de circulação, em seguida apresentam-se apenas, numa forma sintética, as principais diferenças entre a constituição dos três tipos de pavimentos rodoviários (Ferreira, 2009):

- Pavimento flexível: Camada de desgaste em mistura betuminosa, cuja camada de base pode ser ou não tratada por um ligante betuminoso;
- Pavimento rígido: Camada de desgaste é constituída por betão de cimento de elevada resistência;
- Pavimento semirrígido: Camada superior em mistura betuminosa aplicada sobre camadas de materiais tratados com ligantes hidráulicos.

2.1.2 Espaços de Circulação Mista

Os parques de estacionamento são um dos espaços urbanos onde se processa o deslocamento quer de veículos quer de peões. Os principais tipos de materiais usados na pavimentação destes locais são:

- Betão;
- Betão betuminoso;
- Cubos graníticos.

Parques de estacionamento com pavimentos em blocos de betão (PBB) são um bom exemplo de um pavimento que usa o betão como material na sua pavimentação. Estes têm a vantagem de suportar cargas elevadas e tráfego de movimento lento. Quando em ambiente exterior, estão sujeitos às ações climáticas, como o sol, chuva, gelo e neve. Este tipo de pavimento,

ao contrário dos pavimentos flexíveis em betão betuminoso, apresenta uma deterioração mínima (Morgado, 2008). Um exemplo de constituição de um pavimento deste tipo pode ser observado na Figura 1.

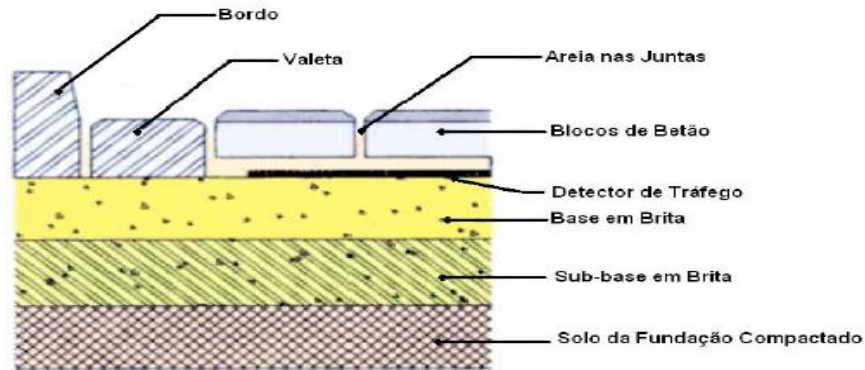


Figura 1 - Exemplo de um PBB (ADAH, 2004, citado em Morgado, 2008)

Outro tipo de material usado em parques de estacionamento é o betão betuminoso, que oferece uma boa rentabilidade, atratividade e uma vida de cerca de 20 ou mais anos. Ao mesmo tempo, quando este tipo de pavimento é realizado com betão betuminoso poroso permite que a água se escoe rapidamente devido à sua superfície bastante permeável. Pavimentos em betão betuminoso poroso são compostos por uma superfície betuminosa permeável colocada sobre uma plataforma granular no topo de um aterro (OAPA, 2010).

Os cubos de granito também são uma boa solução de pavimentação de parques de estacionamento, quer por serem uma solução muito durável, quer como modo de evitar que os condutores se sintam confortáveis a praticar grandes velocidades em espaços mistos. Este tipo de material potencia a atenção do próprio condutor, que mais facilmente reduzirá a velocidade a que circula (Pimenta, 2008). No entanto, é necessário ter presente que com o uso deste material o desconforto sonoro vai aumentar (Pimenta, 2008), devendo esta solução depender do objetivo que se pretende.

Os parques de estacionamento não são os únicos espaços mistos presentes num meio urbano. As vias partilhadas por peões e pelo tráfego rodoviário também são um exemplo deste tipo de espaços. Estas devem ser planeadas para serem usufruídas tanto por peões como por condutores (Carmona *et al.*, 2003), e desse modo é importante realizar um planeamento atempado, para permitir a escolha de materiais de pavimentação que se enquadrem no tipo de solicitações a que serão sujeitos e ao local em que serão implementados.

2.2 Ciclovias

No espaço urbano, as ciclovias são caminhos geralmente localizados com direitos exclusivos de passagem e cuja presença de veículos motorizados é restrita (NCDOT, 1994).

A crescente preocupação com a saúde, conservação e meio ambiente contribuiu para o aumento da procura e da necessidade de melhores ciclovias (ACAP, 2005). Deste modo, e como a bicicleta é encarada nos países do Primeiro Mundo como a melhor opção de transporte, dado que oferece rapidez, facilidade na hora de estacionar, é saudável e não emite gases poluentes (Salles, 2010), existe a necessidade das infraestruturas das ciclovias garantirem não só a segurança, mas também o conforto (Hölzel *et al.*, 2012), de modo a tornar apazível o uso deste transporte.

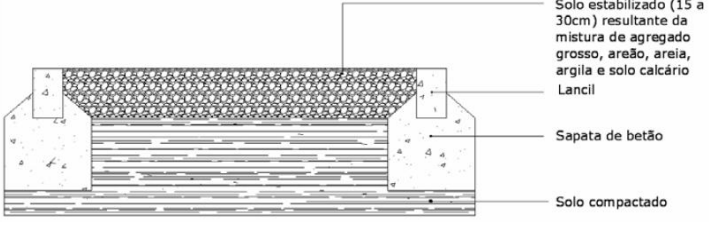
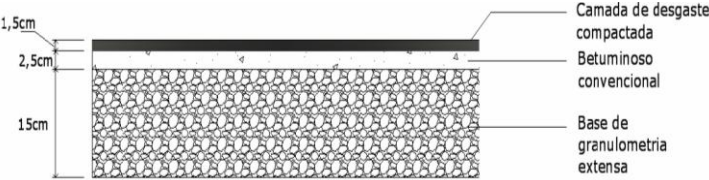
2.2.1 Tipos de Pavimentos de Ciclovias

Os pavimentos das ciclovias possuem uma maior importância quando comparados com outras vias de comunicação, visto que as bicicletas que circulam nas ciclovias não possuem sistemas de amortecimento tão avançados como o de outros veículos (Ramos, 2008). A seleção do tipo de pavimento a ser construído é portanto uma tarefa importante e complexa que requer várias considerações, do ponto de vista técnico, económico e de diversos fatores, como os custos de utilização das ciclovias e desempenho do pavimento (Beg *et al.*, 1998).

Independente do tipo de pavimento, este deve apresentar uma superfície regular, para evitar a trepidação, e ser, preferencialmente, antiderrapante. Contudo, podem-se aplicar elementos que provoquem rugosidade quando se pretenda abrandar a velocidade (Macedo *et al.*, 2008).

Existe toda uma panóplia de opções quanto ao tipo de pavimento a adotar para as ciclovias, sendo os pavimentos mais usuais para a construção de ciclovias apresentados no Quadro 1. A solução escolhida terá de ser pensada de acordo com o tipo de utilização a que será sujeito e com o local onde será implementada. Por exemplo, em áreas que estão frequentemente sujeitas a inundações e problemas de drenagem, ou cujo terreno é íngreme, não se deverá optar por superfícies não pavimentadas, visto que estas são frequentemente erodidas e por isso não são recomendadas (AASHTO, 1999).

Quadro 1 - Diferentes tipos de pavimentos para ciclovias (Macedo *et al.*, 2008)

Tipo de pavimento	Caracterização	Observações
Solo estabilizado	 <p>Solo estabilizado (15 a 30cm) resultante da mistura de agregado grosso, areão, areia, argila e solo calcário Lancel Sapata de betão Solo compactado</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Pavimento com boa permeabilidade após cilindragem. -Boa integração paisagística. -Desgaste não uniforme (erosão). -Baixos custos.
Blocos de Betão	<p>Assentamento dos blocos de betão pré-fabricados sobre uma camada de areia de 5 cm de espessura. Após o assentamento dos blocos, que devem ficar unidos (2 a 3 mm de junta), espalha-se areia fina e seca por toda a superfície, varrendo-se de modo a preencher as juntas. Posteriormente faz-se a compactação da superfície construída.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Pavimento é menos aconselhado, dada a irregularidade provocada pelas juntas. Deve aplicar-se em áreas muito restritas, de coexistência entre automóveis e bicicletas. -Custo médio.
Betuminoso (sem coloração)	 <p>1,5cm 2,5cm 15cm</p> <p>Camada de desgaste compactada Betuminoso convencional Base de granulometria extensa</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Esteticamente aceitável e de fácil manutenção. -Por suportar tráfego automóvel pode levar à sua invasão se não for destacado para o efeito. -Baixo custo.
Lajes de Betão	<p>Lajes de betão armadas com malha-sol e com acabamento superficial de regularização. Estas são construídas <i>in situ</i> sobre uma camada de granulometria extensa com espessura de 0,15 m. Na cofragem, que delimita a caixa de pavimento, estende-se a rede malha-sol e preenche-se com betão. As juntas de dilatação devem ser seladas e, para evitar a fragmentação do pavimento, devem-se também fazer juntas de fissuração.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Elevada resistência. -Baixa degradação. -Capacidade de integração paisagística. -Custo elevado.

2.2.2 Técnicas Construtivas de Pavimentos de Ciclovias

A técnica construtiva usada nos pavimentos de ciclovias não é o fator mais importante na sua construção. Porém, a qualidade da sua realização e o recurso ao uso de matérias adequados é de especial importância, na medida em que uma má execução poderá influenciar negativamente a qualidade funcional oferecida por estas. Apresenta-se em seguida alguns exemplos de técnicas construtivas usadas na construção de ciclovias.

Pavimentos em betão moldado em obra: Este tipo de pavimentos tem a vantagem de ser facilmente executado, ter flexibilidade ao equipamento de construção e baixo custo de aplicação (SNTMU, 2007). As ciclovias têm normalmente uma secção tipo como se pode ver na Figura 2, e a sua construção compreende oito etapas (Figura 3) descritas em seguida:

- A primeira etapa compreende dois passos, sendo o primeiro a verificação e abertura da caixa, que deve ter uma profundidade mínima de 20 cm (com a mesma inclinação do pavimento), e o segundo passo é a compactação, para regularizar e compactar a fundação.
- A etapa dois também possui dois passos, sendo o primeiro a distribuição da camada granular da maneira mais uniforme possível sobre o solo compactado, e o segundo uma nova compactação após a distribuição da camada granular realizada com placa ou rolo vibratório.
- Na terceira etapa é realizada uma fixação e verificação, onde o topo das cofragens deve coincidir com a superfície de rolamento prevista em projeto, devendo garantir espessura uniforme ao longo de todo o pavimento.
- A quarta etapa consiste na colocação de um lençol plástico que forma uma camada impermeabilizante e redutora do atrito.
- A quinta etapa é a betonagem e compreende quatro passos, em que o primeiro é um espalhamento manual do betão, o segundo é o adensamento com o auxílio de vibradores de imersão e régua vibratórias, seguido de um nivelamento e do acabamento.
- A sexta etapa é a cura química, que serve para evitar a evaporação precoce da água, e é conseguida pela aplicação dum produto de cura.
- A sétima etapa passa pela construção de juntas transversais de retração que são realizadas inicialmente por um corte com serra de disco diamantado, seguidas de limpeza com ponta cinzelada e por fim as juntas são seladas com material selante apropriado (Bastos, 2013).

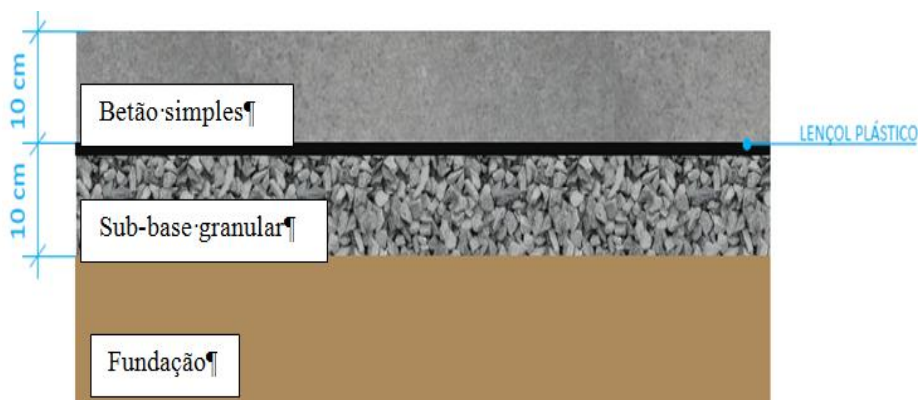


Figura 2 - Secção tipo de uma ciclovia em betão moldado (Bastos, 2013)

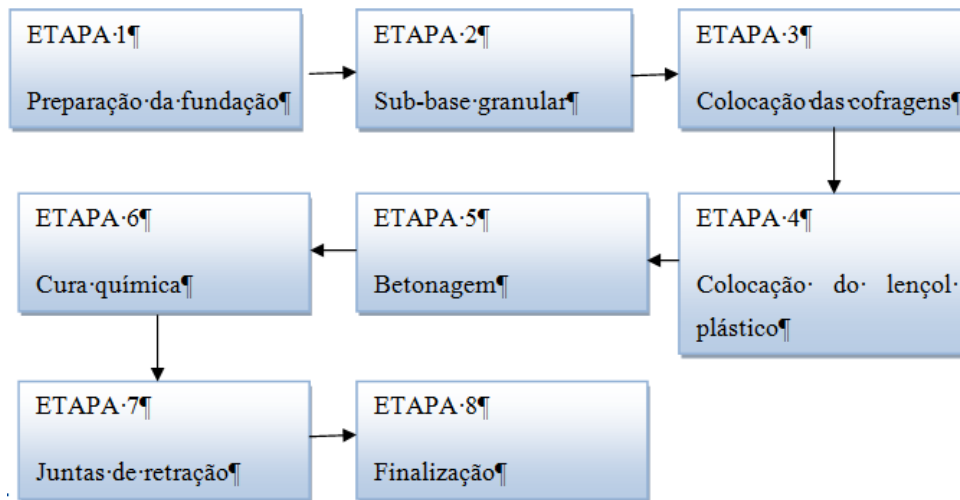


Figura 3 - Etapas de execução de uma ciclovia em betão moldado em obra

Pavimentos em material betuminoso: As misturas betuminosas resultam da combinação de agregado, aglutinante e filler, e são usadas na construção e manutenção de todo o tipo de estradas. De maneira a ligar os agregados numa mistura coesiva é usado um ligante betuminoso. O mais comum é usar o betume como ligante. Em média um pavimento em material betuminoso consiste na estrutura rodoviária acima da fundação que inclui materiais betuminosos ligados ou não ligados. Isso dá ao pavimento a habilidade de distribuir as cargas do tráfego antes de chegar ao nível da fundação (EAPA, 2010). Na Figura 4 pode-se observar um exemplo de um pavimento em betuminoso.

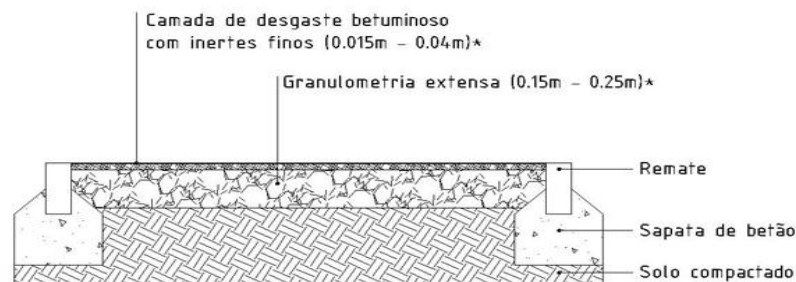


Figura 4 - Exemplo de um pavimento em material betuminoso (CEAP, 2005)

Os pavimentos em material betuminoso oferecem um uso amigável, rentável, e ciclovias duradouras, bem como uma superfície regular, silenciosa e segura (CAPA, 2005).

Uma das principais vantagens na suavidade oferecida por este tipo de pavimento são os reduzidos problemas com a vibração, tornando-os confortáveis para andar. Isto é extremamente importante para alguns grupos de ciclistas, como os que possuem doenças

reumáticas, visto que para estes, problemas com a vibração podem-se tornar realmente dolorosos. E para além do mais, andar em ciclovias com este tipo de problemas exigem maior energia, e os ciclistas preferem gastá-la percorrendo mais quilómetros (Boggelen *et al.*, 2006).

Durante a construção da fundação, esta deve ser nivelada e compactada antes da construção da sub-base. Quando possível, os níveis, os perfis e inclinação transversal devem ser definidos o mais exato possível no topo da camada de sub-base de maneira a garantir a correta e uniforme espessura da camada posterior. O acabamento da superfície é importante, em especial para os ciclistas, de modo a garantir a qualidade ao andar. Deverão ser usadas máquinas sempre que possível para garantir a consistência e superfícies bem compactadas (MPA, 2009). De forma resumida, as etapas presentes na execução de uma ciclovia em pavimento betuminoso são:

1. Preparação da fundação;
2. Compactação da base;
3. Aplicação de rega de colagem;
4. Espalhamento da mistura betuminosa;
5. Compactação da mistura betuminosa.

2.2.4 Critérios Relativos à Largura

As ciclovias servem a necessidade de todos os tipos de ciclistas, garantindo-lhes o seu próprio lugar na estrada (FHWA, 2006). As larguras mínimas dependerão do número de sentidos de circulação presentes (um ou dois). A melhor solução para a rede de ciclovias é optar por dois sentidos de circulação e uma das principais vantagens dessa solução é permitir que a rede se torne mais simples e fácil. Em contraste, na solução de apenas um sentido a rede torna-se complicada e perigosa uma vez que os ciclistas atravessam a estrada em dois lugares separados nos cruzamentos. Outros motivos que levam a que uma ciclovia de dois sentidos seja preferível são:

- Quando não existem ciclistas os peões desfrutam de um passeio maior;
- Neste tipo de soluções, os ciclistas são obrigados a circular a velocidades menores, o que se torna mais seguro tanto para eles como para os peões (Vlastos *et al.*, 2005).

Na maioria das condições, a largura mínima da zona pavimentada para uma ciclovia de dois sentidos é 3 metros (Figura 5). Ciclovias mais estreitas não são recomendadas uma vez que

não permitem frequentes oportunidades de passagem quando há um elevado número de ciclistas e não oferecem segurança. Contudo, por vezes pode ser aceitável ou mesmo necessário que uma ciclovia possa ter uma largura inferior a 3 metros numa pequena distância, como por exemplo quando esta passa entre dois edifícios ou entre postes que não possam ser movidos, ou quando atravessam pontes que não possam ser modificadas (NCDOT, 1994).

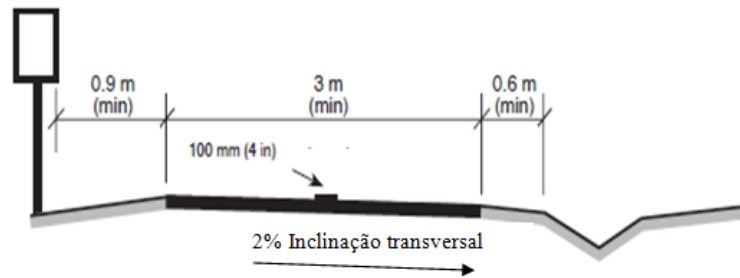


Figura 5 - Exemplo de uma secção de uma ciclovia de dois sentidos com indicação da largura (NCDOT, 1994)

No Quadro 2 apresentam-se as recomendações técnicas a atribuir à largura das ciclovias nas diversas situações de utilização.

Quadro 2 - Recomendações técnicas para as infraestruturas cicláveis (APA, 2010)


Tipo de Infraestrutura	Largura Mínima	Largura Recomendada
Faixa ciclável	1,25 m	1,50 m
Pista ciclável unidirecional	1,50 m	2,00 m
Pista partilhada (acesso local)	2,00 m	2,50 m
Pista partilhada (deslocações pendulares)	2,00 m	3,00 m
Pista partilhada (lazer)	3,00 m	3,50 m

2.2.5 Sinalização e Iluminação

A sinalética destinada a ciclistas altera-se consoante o país em que é implementada, mas compreende sempre uma sinalética vertical e uma horizontal. Nos EUA, o *Manual of Uniform Traffic Control Devices* (MUCTD) é a compilação de todas as normas em todos os dispositivos de controlo de tráfego e fornece as normas relativas aos sinais e marcas para as ciclovias (FHWA, 2002). Porém, independentemente do país, os sinais não devem criar maior

impacto visual do que o estritamente necessário para transmitir a informação necessária para aqueles que a precisam de ver (LCDS, 2013). Em Portugal, alguns exemplos de sinalização em ciclovias estão representadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Exemplo de sinalização de ciclovias em Portugal (Macedo *et al.*, 2008)

Símbolo (código do sinal)		Definição	Observações
De início	De finalização		
 (D7a)	 (D13a)	Pista obrigatória para ciclistas	Estes sinais devem ser colocados no início e no fim de um troço exclusivo para bicicletas. É proibida a circulação de quaisquer outros veículos e também de peões nestes espaços. Com este sinal, as bicicletas são obrigadas a respeitar o espaço reservado para o efeito.
 (D7b)	 (D13b)	Pista obrigatória para peões	Estes sinais devem ser colocados no início e no fim de um troço exclusivo para peões.
 (D7e)	 (D13e)	Pista obrigatória para peões e ciclistas	É proibida a circulação de quaisquer outros veículos nestes espaços. Com este sinal, as bicicletas são obrigadas a respeitar o espaço reservado para o efeito.
 (D7f)	 (D13f)	Pista obrigatória para peões e ciclistas	Este sinal marca um troço de peões e bicicletas com separação de usos. Com este sinal, as bicicletas são obrigadas a respeitar o espaço reservado para o efeito.
Símbolo (código do sinal)		Definição	Observações
 (B1)		Cedência de passagem	Geralmente utilizado na proximidade de intersecções e/ou zonas de conflito. Quando direcionado para os ciclistas devem ser colocados no interior de um painel. Os ciclistas são obrigados a respeitar este sinal.
 (B2)		Paragem obrigatória	Geralmente utilizado na proximidade de intersecções e/ou zonas de conflito. Quando direcionado para os ciclistas devem ser colocados no interior de um painel. Os ciclistas são obrigados a respeitar este sinal.
 (C3g)		Trânsito proibido a ciclistas	Os ciclistas são obrigados a respeitar este sinal.

Os sinais e marcas rodoviários dispõem-se em três categorias:

- Regulação - Estes são usadas para informar sobre uma exigência legal, e só devem ser usados quando esse não é de outra maneira aparente;

- Aviso e informação - sinais e marcas de gestão de tráfego que servem para avisar sobre uma condição inesperada ou perigo. Devem ser colocados a uma distância que permita a resposta em tempo adequado (FHWA, 2006);
- Orientação - sinais de localização e direção (LCDS, 2013).

Na Figura 6 apresenta-se um exemplo de uma estrada com a localização e tipologia de alguns sinais numa ciclovia (FHWA, 2002). A sinalética destinada a ciclistas pode distinguir-se da dos restantes veículos pelas seguintes características:

- Formato;
- Altura e local da colocação;
- Simbologia específica de identificação;
- Cores de fundo (a atual legislação define o azul, que é aceite internacionalmente);
- Tipo de letras (preferencialmente brancas) (Macedo *et al.*, 2008).

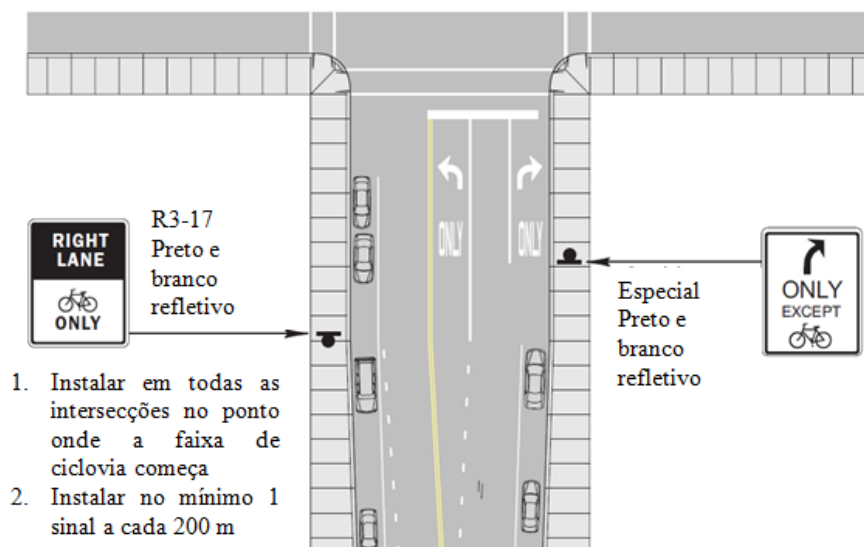


Figura 6 - Exemplo de sinalização de uma ciclovia (Adaptado de FHWA, 2002)

As marcas rodoviárias são, no geral, o melhor caminho para gerir e direccionar a informação para os ciclistas, e devem ser usadas sempre que for praticável (LCDS, 2013).

A iluminação permite aos ciclistas verem a direção da ciclovia, as condições da superfície e possíveis obstáculos. Por isso é necessário garantir um apropriado nível de luminosidade nas ciclovias (LCDS, 2013), o que proporcionará um maior nível de segurança. Para isso, os

postes de iluminação devem ser colocados a uma altura compreendida entre 3,6 e 4,5 metros, mas cada caso de iluminação é única e deve ser avaliada caso a caso.

2.2.6 Importância da Manutenção das Ciclovias

A manutenção é geralmente dividida em duas categorias: a manutenção preventiva e a corretiva. A preventiva, como o próprio nome indica, pretende ir prevenindo a degradação do pavimento, com uma série de pequenas intervenções que aumentarão a vida do mesmo e diminuirão o estado de deterioração. As intervenções corretivas são levadas a cabo para corrigir um pavimento que está em ruína (CAPA, 2005).

Também é necessário levar em consideração a limpeza das ciclovias. Em Milton Keynes, Reino Unido, as ciclovias possuem problemas com a presença de detritos, o que aumenta em 7 vezes a probabilidade de um ciclista furar um pneu comparativamente a um que circule numa estrada. Em áreas sujeitas a uma forte queda de folhas no Outono, ou alta probabilidade de queda de neve no Inverno, as ciclovias necessitam de ser sujeitas regularmente a limpeza para continuarem utilizáveis. Ciclovias que não possuem manutenção tornam-se potencialmente perigosas para os ciclistas que nela circulam, e acabam por desencorajar a sua utilização (Franklin, 1999).

2.3 Passeios

Os passeios são a parte da via pública, normalmente sobrelevada, que ladeia a faixa de rodagem e se destina ao trânsito de peões. O passeio ideal é aquele que garanta o caminhar livre, seguro e confortável de todos os cidadãos (CREA-BA, 2009).

Em geral, a função da estrada pública consiste na eficiente mobilidade dos veículos e em garantir um espaço confortável para os peões caminharem. Atualmente, na época dos altos preços do petróleo, é importante reduzir o uso do automóvel e encorajar o uso de transportes públicos, bicicletas e do caminhar (Lee *et al.*, 2009). Nesse sentido é fundamental garantir a qualidade do sistema pedonal, particularmente em meio urbano, uma vez que o movimento de peões no ambiente urbano é vital para sustentar o relacionamento social e económico, que por sua vez é essencial para a qualidade de vida e para a manutenção de um estilo de vida saudável (Al-Azzawi *et al.*, 2007).

Caminhar é o modo de transporte mais antigo, e independentemente do motivo, todas as deslocações iniciam-se e terminam com uma componente pedonal (APA, 2010). Dado todo este peso do sistema pedonal nas viagens efetuadas não se pode negligenciar e ter-se-á de construir passeios que apresentem uma superfície com boas características funcionais.

2.3.1 Tipos de Pavimentos de Passeios

A rede pedonal que compõe um meio urbano é constituída por vários tipos de passeios, e estes por sua vez poderão ser compostos por um vasto leque de materiais e soluções construtivas (Oliver-Solá *et al.*, 2009). Independentemente do tipo de solução escolhida para os passeios, esta deve apresentar uma superfície regular, continua, firme e antiderrapante em qualquer condição climática, e os passeios devem ser executados sem mudanças abruptas de nível ou inclinações que dificultem a circulação de peões (PSP, 2013), para não provocarem o aumento do risco de quedas e lesões relacionadas com a queda, que estão associadas a custos médicos e socioeconómicos, principalmente na população mais envelhecida (Thies *et al.*, 2004).

O material do pavimento é importante para a função e estética da rua, na estrada e nos passeios (Zegeer *et al.*, 2002). Contudo, a solução escolhida terá de ser pensada de acordo com o tipo de utilização a que será sujeita e o local em que será implementada. Por exemplo, passeios em paralelepípedos poderão ser ruidosos e “inimigos” dos peões, mas por vezes poderão ser elementos que promovem medidas de acalmia de tráfego (Zegeer *et al.*, 2002).

A superfície de passeios preferida e mais usada na América do Norte é o betão, visto que garante a maior vida de serviço e requer pouca manutenção (FHWA, 2013), enquanto na Europa a maioria dos passeios são feitos em betão betuminoso, pedra, tijolo, entre outros materiais (Hampson, 2006). De facto, existem vários tipos de materiais que podem ser usados na pavimentação de passeios, pelo que nos próximos parágrafos são apresentados mais em pormenor os mais comuns, e em especial os que vão ser estudados neste trabalho.

Passeios em Betão: Este tipo de material em passeios (Figura 7) são os mais comuns na América do Norte, devido a uma maior vida útil e baixo custo de manutenção. No entanto, o custo de construção inicial é mais alto em comparação com o dos passeios em material betuminoso. O betão reflete mais a luz que os materiais betuminosos e consequentemente

reduz o custo da iluminação pública dos passeios. Além disso, se as estradas adjacentes forem construídas com materiais betuminosos, consegue-se um contraste visual que garante a definição entre a estrada e o passeio (FOCMANRC, 2004).

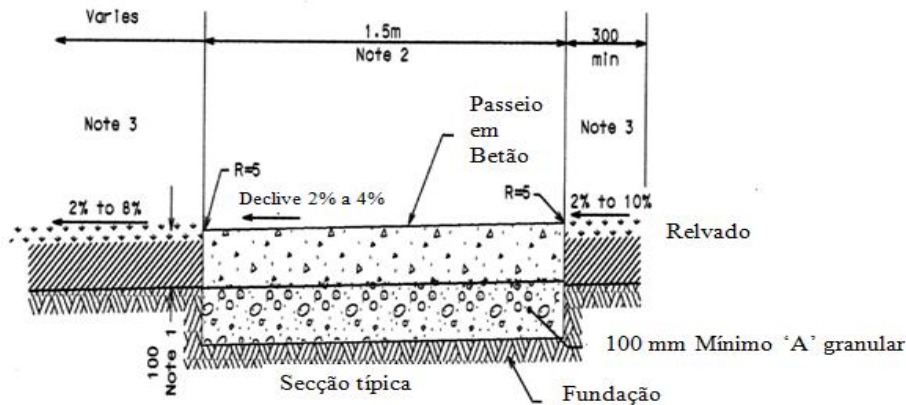


Figura 7 - Exemplo de um passeio em betão (Adaptado de SCDFMCP, 2013)

Passeios em Materiais Betuminosos: Estes pavimentos (Figura 8) possuem um menor custo de construção inicial e uma menor vida útil que o betão. Além disso estes passeios são mais suscetíveis a danos aquando da remoção de neve, em países onde isso acontece, e requerem uma maior manutenção. Este tipo de solução é mais usado quando se projetam pavimentos onde é necessário uma vida útil mais curta (FOCMANRC, 2004).

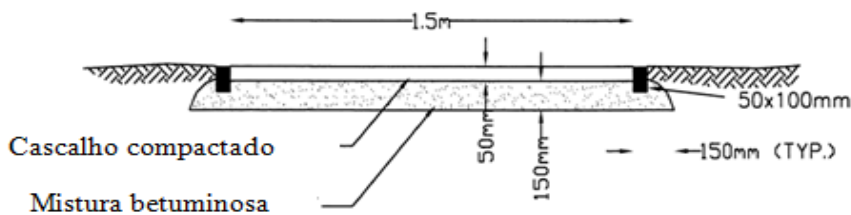


Figura 8 - Detalhe da secção transversal de um passeio em material betuminoso (Adaptado de CPA, 2000)

Passeios em blocos de cerâmica: Até meados da década de 20, o tijolo era a pavimentação de rua mais popular na América. Depois disso, os pavimentos em betão e em material betuminoso foram amplamente mais utilizados. Este tipo de material é muitas vezes usado porque é muito fácil de produzir, fácil de usar, pode ser usado em conjunto com outros materiais de pavimentação e está disponível numa variedade de formatos e cores. O tijolo é

conhecido pela sua resistência às condições atmosféricas. Quando bem instalados, os pavimentos em tijolo (Figura 9) são estáveis e duráveis, mas é geralmente mais dispendioso de instalar que outros materiais como o betão e as misturas betuminosas (Gibbons, 1999). Além disso, os pavimentos em tijolo podem causar vibração que é dolorosa para os peões com mobilidade reduzida (FHWA, 2013).

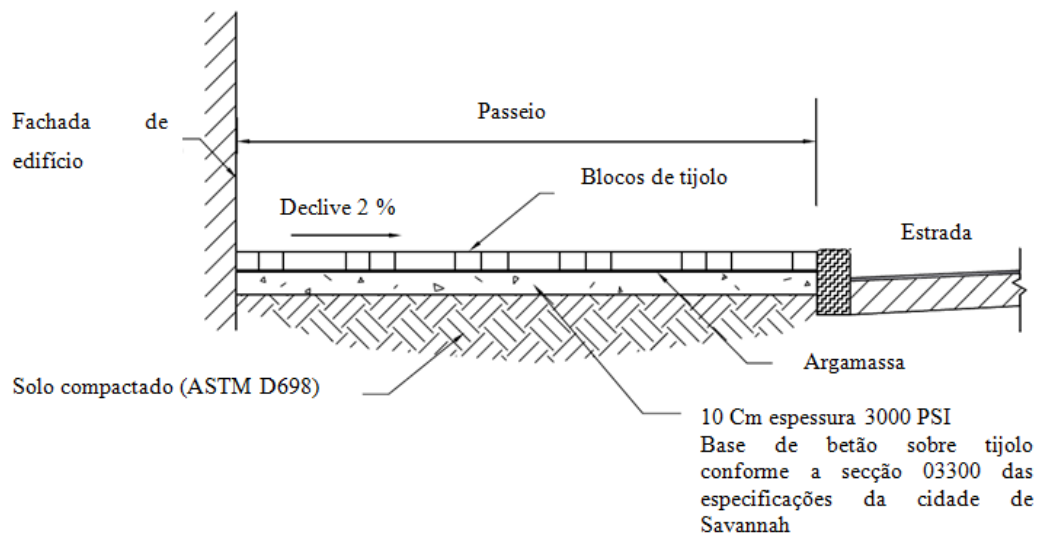


Figura 9 - Exemplo de um passeio em tijolo (Adaptado de CS, 2009)

Passeios em Pedra: Este tipo de material é caracterizado pela sua dureza, reduzida porosidade e resistência à abrasão. Estão ainda disponíveis em vários formatos e em vários graus de suavidade. Um exemplo da utilização deste material em pavimentos são os cubos (Figura 10) e paralelepípedos de granito (Gibbons, 1999), embora seja habitual a construção com outros tipos de pedra como o calcário e o basalto (calçada portuguesa).

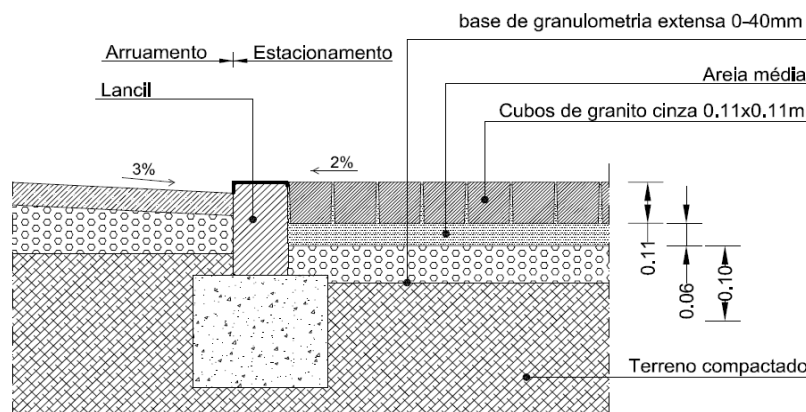


Figura 10 - Exemplo de um pavimento em cubos de granito (MVNG, 2013)

2.3.2 Aspetos mais Importantes na Escolha de Pavimentos Pedonais

Como foi visto anteriormente, existe uma grande panóplia de tipologias de pavimentos disponíveis para a rede pedonal no espaço urbano. Contudo, nem todos são adequados em todas as situações, devendo ter-se em atenção vários aspetos.

No Quadro 4, pode-se observar a lista de aspetos mais importantes a ter em conta na escolha do tipo de pavimento para passeios, e que podem ser agrupados da seguinte forma:

- Aspetos funcionais – Resistência, aderência, permeabilidade, desgaste, conforto do utilizador e manutenção;
- Aspetos estéticos – estereotomia, padrão, textura e cor (Pimenta, 2008).

Quadro 4 - Parâmetros para a Avaliação das Tipologias de Pavimento (Pimenta, 2008)

Aspetos Funcionais	Definição	Classificações
Resistência	Capacidade de resistir à carga e aos impactos que tem que suportar, às condições atmosféricas e a agentes químicos.	Baixa, Média, Elevada
Aderência	Capacidade para mobilizar o atrito entre o elemento de contacto do utilizador e o pavimento.	Baixa, Média, Elevada.
Permeabilidade	Capacidade de permitir a passagem de água ou outro líquido.	Sim, Não.
Desgaste	Consumo e danificação progressiva, provocado pela utilização.	Baixa, Média, Elevada.
Conforto	Fatores que proporcionam comodidade, contribuindo para o bem-estar físico dos utilizadores.	Baixa, Média, Elevada.
Manutenção	Conjunto de medidas e ações efetuadas com o objetivo de manter em bom estado, aumentando a durabilidade.	Baixa, Média, Elevada.
Aspetos Estéticos		
Estereotomia	Estudo pormenorizados das formas dos elementos dos materiais, através da análise das possibilidades de corte, entalhe e disposição.	Nenhuma, Fragmentada, Variada, Alveolar.
Padrão	Desenho repetido de motivos numa superfície, normalmente, figuras geométricas.	Homogéneo, Variado
Textura	Aspetos de uma superfície, qualquer relevo existente ou feito numa superfície com qualquer material, percecionada pela visão humana.	Lisa, Suave, Rugosa, Muito Rugosa.
Cor	Qualidade percecionada através da visão, que pode ser natural ou aplicada aos materiais utilizados no pavimento.	

Desta forma, a escolha da solução a adotar quando se pretende construir um passeio terá de passar pela adequação à função pretendida, tendo sempre em atenção os aspetos funcionais e estéticos que cada solução oferece.

2.3.3 Métodos Construtivos Utilizados em Passeios

Tal como indicado nas ciclovias, o mais importante quando se constrói um passeio não é a forma como é construído, mas sim a qualidade dessa construção e a verificação de que os materiais utilizados se adequem ao uso pretendido. De facto, a utilização de maus processos construtivos poderá influenciar negativamente a qualidade oferecida pelo pavimento do passeio, mais concretamente ao nível da qualidade funcional, que é o principal aspeto a garantir e que deverá suscitar maior preocupação, quer aquando a sua construção, quer durante a sua vida útil. Assim, apresenta-se de seguida alguns exemplos de métodos construtivos usados na construção de diferentes tipos de passeios. Os exemplos apresentados em seguida estão diretamente ligados com o tipo de passeios estudados na parte prática desta dissertação, embora se chame a atenção de que os passeios em estudo poderão não ter sido construídos exatamente desta forma, visto que não foi possível recolher essa informação.

Pavimentação de passeios em lajetas pré-fabricadas de betão

Os pavimentos em lajetas pré-fabricadas de betão (Figura 11) são compostos por peças pré-moldadas de betão e constituem uma solução excelente e eficaz para uso em ruas, passeios e praças. Esta solução é muito difundida tanto na construção como na reconstrução e reabilitação desse tipo de instalação urbana (ABCP, 2009). Estes pavimentos podem ser rígidos ou flexíveis consoante a base é de argamassa ou areia (Pimenta, 2008).

As principais características deste tipo de pavimento são a elevada durabilidade, tratando-se de um pavimento que apresenta rugosidade adequada para evitar escorregamentos e que pode ser imediatamente aberto ao tráfego (CREA-BA, 2009). A propriedade de distribuição de esforços das peças de betão depende essencialmente do seu formato, arranjo e espessura. A resistência à compressão das peças tem, neste aspeto, pouca influência (ABCP, 2009).

Na Figura 11 pode-se observar a estrutura típica deste tipo de solução em lajetas pré-fabricadas de betão para passeios, enquanto a sua execução é detalhada na Figura 12.

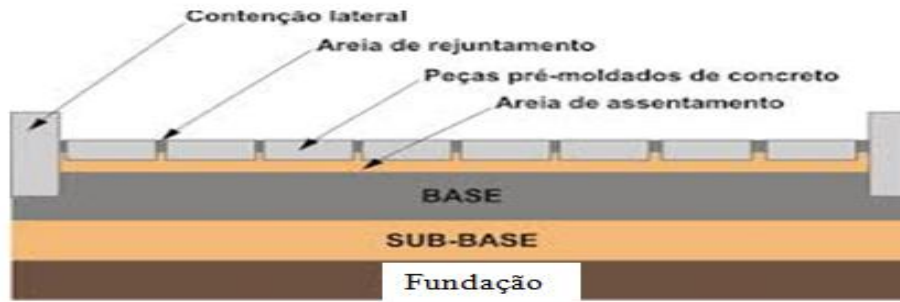


Figura 11 - Estrutura de um pavimento em lajetas pré-fabricadas de betão (ABCP, 2009)



Nivelamento e compactação da fundação.



Instalação das contenções laterais, nivelamento e compactação da base.



Espalhamento e nivelamento da areia de assentamento.



Colocação das peças de betão, alinhamento, cortes e ajustes.



Compactação inicial, revisão, ajustes, espalhamento da areia, rejuntamento e compactação final.



Limpeza e abertura ao tráfego.

Figura 12 - Execução, passo a passo, de um pavimento em lajetas pré-fabricadas de betão para passeios (CREA-BA, 2009)

Pavimentação de passeios em cubos de granito

As principais características deste tipo de pavimento, cuja composição se representa na Figura 13, são a sua dureza, porosidade e resistência à abrasão (Gibbons, 1999).

Relativamente à execução dos trabalhos para construção deste tipo de pavimentos, esta divide-se em quatro fases principais, nomeadamente a abertura da caixa (1), a realização da

camada de base (2), a colocação da almofada de areia (3) e finalmente o assentamento dos cubos (4). Essas fases descrevem-se mais em pormenor em seguida:

1. Abertura de caixa – Proceder-se-á previamente à abertura de caixa com profundidade de 0,27 m que poderá ser devidamente regularizada e compactada através dum compactador mecânico;
2. Camada de Base – Será aplicada uma camada de material de granulometria extensa 0-40 mm com espessura de 0,10 metros, depois de regularizada e compactada através dum compactador mecânico;
3. Almofada de areia – Sobre a base será espalhada uma camada de areia média com espessura de 0,06 metros, que servirá de leito para assentamento dos cubos de granito;
4. Assentamento de cubos – O assentamento dos cubos será efetuado, colocando-se as pedras em fiadas retilíneas, de modo que as juntas de cada fiada fiquem desencontradas com as fiadas contiguas.

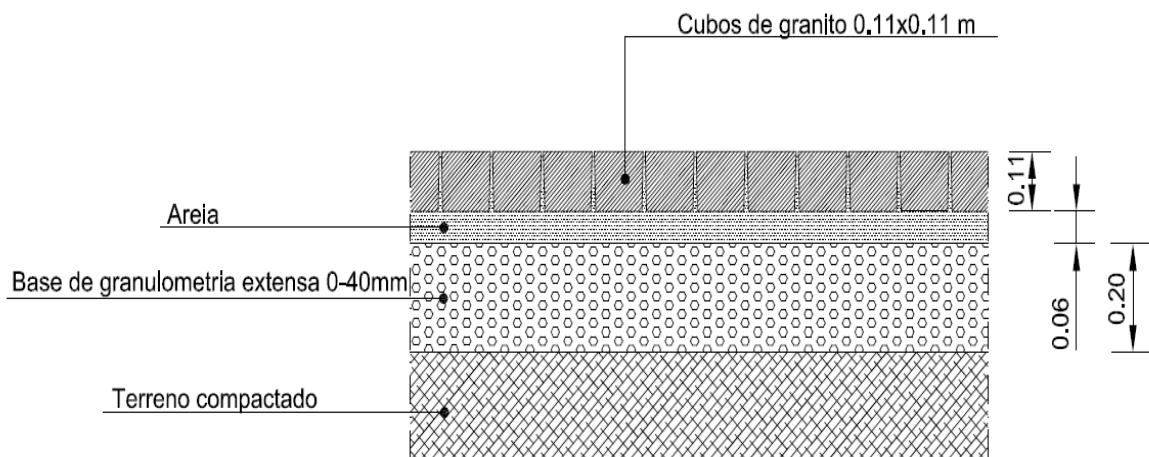


Figura 13 - Estrutura de um pavimento em cubos de granito (MVNG, 2013)

Concluído o assentamento dos cubos proceder-se-á ao preenchimento das juntas com areia. Para tal espalha-se uma camada de areia média com cerca de 0,02 metros de espessura sobre a calçada, forçando-se a sua penetração nas juntas com o emprego de vassouras. Em seguida efetuar-se-á a compactação do pavimento utilizando um compactador mecânico, de preferência com vibração (MVNG, 2013).

Pavimentação de passeios em blocos de betão

A utilização de blocos de betão para pavimentação de passeios em áreas urbanas tem vindo a crescer nos últimos anos devido às facilidades encontradas na execução deste revestimento, ao

seu bom desempenho durante a fase de utilização, elevada resistência à abrasão e compressão (Pettermann, 2006).

Este tipo de pavimentos oferece uma superfície antiderrapante, espaços esteticamente agradáveis, boa luminosidade e impermeabilidade (Morgado, 2008). Na Figura 14 pode-se ver a estrutura tipo deste pavimento.

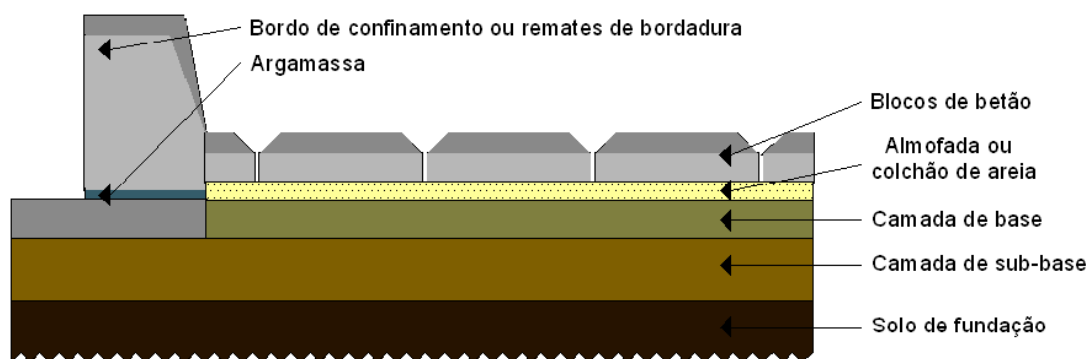


Figura 14 - Estrutura tipo de um pavimento com blocos de betão (Morgado, 2008)

Relativamente à execução dos trabalhos para construção deste tipo de pavimentos, esta pode dividir-se em oito fases que se descrevem em seguida:

1. Preparação do solo de fundação – Nesta fase efetua-se a escavação ou aterro para se obter a cota do projeto definida nos estudos preliminares. Depois deve-se compactar a fundação de forma a garantir a capacidade de projeto exigida. A superfície acabada não deverá variar em mais de 15-20 mm, o que se pode constatar com o auxílio de uma régua de 3 metros aplicada tanto paralela, como normalmente ao eixo da via.
2. Espalhamento e compactação da camada de sub-base – Após verificada a fundação procede-se ao espalhamento da sub-base. Esta compactação continuará até se alcançar um grau de compactação de 95% do ensaio de Proctor modificado. A superfície acabada não deverá variar mais de 10 mm, quando verificada com uma régua de 3 metros aplicada tanto paralela, como normalmente ao eixo da via.
3. Espalhamento e compactação da camada de base – Deve-se distinguir entre as bases granulares de agregado britado de granulometria extensa (ABGE) ou as de betão pobre. Se for de ABGE o espalhamento desta camada é semelhante à da camada de sub-base. Se for de betão pobre, a colocação em obra é análoga à do betão vibrado em pavimentos rígidos. A regularidade superficial deve ser controlada nas 24 horas seguintes à sua execução. Não

devendo variar mais de 10 mm quando verificada com uma régua de 3 metros aplicada tanto paralela com normalmente ao eixo da estrada.

4. Execução dos bordos de confinamento ou remates de bordadura – Pavimentos com blocos necessitam de elementos que os confinem para evitar deslocamentos das peças, abertura das juntas e perda de travamento entre blocos. Estes elementos deverão ser colocados antes da colocação dos blocos, ou se decidir-se colocar depois ter-se-á de limitar as cargas sobre o pavimento numa distância de aproximadamente 1 metro, a contar do limite não confinado. O lancil deve apoiar-se pelo menos 15 cm abaixo do nível inferior dos blocos para garantir a fixação desejada.
5. Espalhamento e nivelamento da camada de areia – Este espalhamento deve ser realizado cuidadosamente, com o intuito de se obter uma camada uniforme no que respeita ao comportamento. Para isso pode utilizar-se uma régua mestra de nivelamento com guias longitudinais ou então com recurso a meios mecânicos. A espessura final desta camada, depois de colocados os blocos e vibrado o pavimento, deve ser de 3 e 5 cm.
6. Colocação dos blocos – A colocação pode ser realizada manualmente ou por intermédio de meios mecânicos. Os blocos são colocados sem nenhum ligante e com as juntas a serem preenchidas com areia. Deve-se procurar que os blocos fiquem nivelados de modo a não se registarem diferenças superiores a 1 cm, quando se verifica a superfície com uma régua de 3 metros, aplicada paralela, como normalmente ao eixo da via.
7. Compactação do pavimento – Após a colocação dos blocos é necessário efetuar uma compactação. Esta pode ser efetuada com um vibrador de placa ou mediante o uso de um pilão. Quando se dispõe de vibrador de placa, basta passar a máquina duas ou três vezes sobre a zona construída. Se a compactação se realizar com pilões, martela-se cada bloco até que ele penetre 1 cm na camada de areia.
8. Preenchimento das juntas com areia – Realiza-se espalhando sobre a superfície do pavimento uma areia fina e seca no momento da colocação. De seguida, com o auxílio de uma escova dura ou uma vassoura manual (Figura 15 (a)) ou mecânica (Figura 15 (b)), varre-se de modo a que areia fique nos espaços deixados entre os blocos, ao mesmo tempo que se faz uma compactação final que assegure o melhor enchimento das juntas. Uma vez terminada a colocação da areia de preenchimento pode permitir-se a passagem de pessoas ou veículos imediatamente (Morgado, 2008).

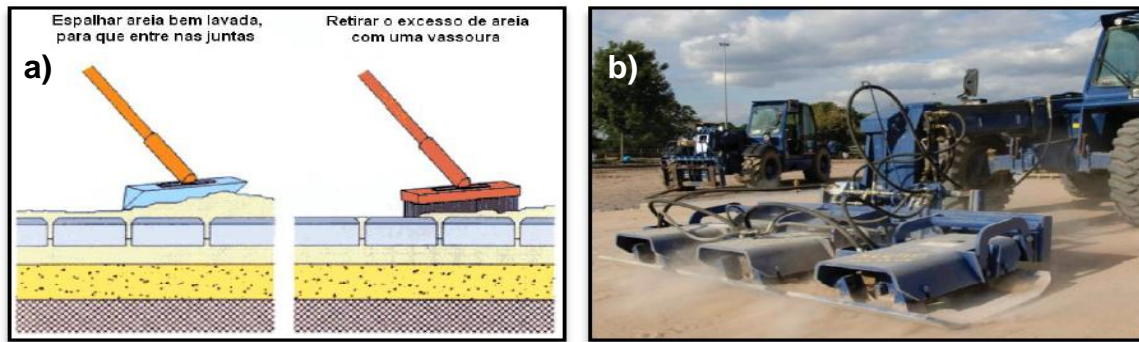


Figura 15 - Preenchimento das juntas (a) manualmente (ADAH, 2004, citado em Morgado, 2008), (b) preenchimento e compactação através de meios mecânicos (INTERPAVE, 2008, citado em Morgado, 2008)

Pavimentação de passeios em material betuminoso

Os pavimentos cuja superfície é realizada em material betuminoso têm sido usados por mais de 90 anos nos passeios dos Estados Unidos. A flexibilidade e durabilidade destes mantêm-nos com um grande uso nos dias de hoje (Sedon, 2011). As principais vantagens de passeios em material betuminoso são:

- Superfície contínua – Os passeios em material betuminoso oferecem uma superfície contínua, impermeável, resistente ao crescimento de vegetação indesejada e inibe a migração de água para a base, reduzindo assim a possibilidade de falhas de base devido à erosão ou ciclos de congelamento e descongelamento;
- Fácil manutenção – Este tipo de pavimentos é facilmente reparável e tem um baixo custo de manutenção;
- Fácil instalação – Os passeios em material betuminoso podem ser instalados rapidamente, resultando numa menor interrupção do tráfego (Sedon, 2011).

Relativamente à execução dos trabalhos para construção deste tipo de pavimentos, esta pode dividir-se em três fases principais que se descrevem em seguida:

1. Abertura de caixa – Proceder-se-á previamente à abertura de caixa com a profundidade de 0,21 metros que deverá ser devidamente regularizada e compactada através de um compactador mecânico. A caixa deverá ficar com uma superfície paralela à que irá apresentar o pavimento depois de concluído, e terá portanto uma inclinação transversal idêntica (2%).

2. Camada de base – Será aplicada uma camada de material de granulometria extensa do tipo 0-40 mm com a espessura de 0,15 metros, que depois será regularizada e compactada através dum compactador mecânico.
3. Camada de betão betuminoso – Antes da aplicação da camada de betão betuminoso deve-se limpar a superfície da camada de base, tornando-a isenta de sujidades, detritos e poeiras, seguindo-se a aplicação da impregnação betuminosa. Sobre esta deve ser espalhada a camada de betão betuminoso com 0,06 m de espessura (MVNG, 2013). Pode observar-se na Figura 16 um exemplo da estrutura deste tipo de pavimentos.

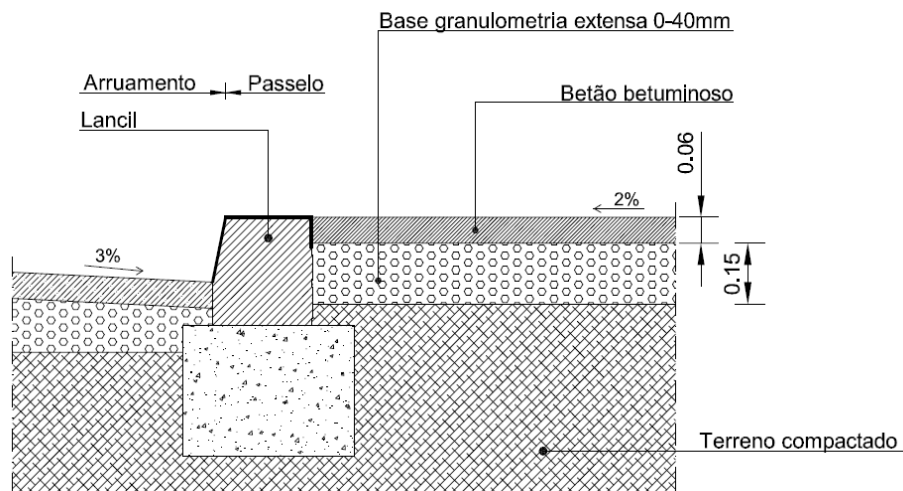


Figura 16 - Estrutura de um pavimento em material betuminoso (MVNG, 2013)

2.3.4 Aspetos a ser Cumpridos na Largura dos Passeios

Os passeios são parte integrante de uma rede de transportes urbana e segundo Byung *et al.* (2009) é crucial considerar a eficácia da engenharia de modo a conceber um passeio confortável e agradável para os peões. Os passeios devem ser construídos com materiais com relativa suavidade, duráveis e com bons coeficientes de fricção e com tamanho suficiente para responder à procura (ITE, 1998).

Os passeios que se encontrem adjacentes a vias principais e distribuidoras devem ter uma largura livre não inferior a 1,5 metros, enquanto, que os pequenos acessos pedonais no interior de áreas plantadas, cujo comprimento total não seja superior a 7 metros, podem ter uma largura livre não inferior a 0,9 metros (CCDRN, 2008) (ver Quadro 5 com largura mínima de passeios).

Quadro 5 - Largura mínima de passeios (CCDRN, 2008)

Tipo de passeios	Largura desejável (m)	Largura Aceitável (m)
Passeios sem mobiliário urbano, árvores ou montras	2,00	1,50
Passeios com fila de árvores ou montras	3,00	2,50
Passeios com árvores e montras	4,00	3,50

É essencial que os passeios sejam adaptados às suas funções necessárias, isto é, destinem-se apenas a tráfico de peões, ou a tráfico de peões e motorizados (Oliver-Solá et al., 2009), bem como ao número de peões que se espera que o usem (FHWA, 2013), evitando deste modo o sobredimensionamento ou o subdimensionamento de muitos passeios e reduzindo o impacto ambiental dentro do espaço público (Oliver-Solá et al., 2009).

2.3.5 Sinalização e Iluminação

Quanto à sinalização presente nos passeios esta deve ser a estritamente necessária, de maneira a não causar obstrução aos peões ou aos ciclistas. Para além do mais, excesso de sinalização apenas acarreta mais custos de manutenção bem como são uma fonte de obstrução visual. Os sinais de regulação são usados para informar o condutor ou o peão dos requerimentos legais, e apenas devem ser usados quando estes não são de outra forma aparentes. Os sinais de aviso informam os condutores ou os peões acerca de uma situação inesperada. Estes devem ser colocados a uma distância que permita um tempo de resposta adequada ao aviso que é feito. (ITE, 1998).

É importante a presença nas vias de semáforos, pois estes irão permitir criar interrupções no fluxo de tráfego, permitindo deste modo aos peões atravessar a faixa rodoviária. Os semáforos devem ter tempos adequados para a passagem dos peões e são extremamente importantes em estradas onde se praticam velocidades elevadas por parte dos condutores, ou que possuam um grande número de intersecções. Estes devem possuir ciclos curtos (preferencialmente 90 s) para reduzir o atraso dos peões, que são muito sensíveis ao mesmo. (Zegeer et al., 2002)

O principal propósito da iluminação nos passeios ou nas estradas é tornar as pessoas, veículos e objetos visíveis (Fotios et al., 2005). Uma boa localização e qualidade da iluminação nos

passeios brilham o local bem como transmite um maior conforto e sensação de segurança. Na realidade a presença de um local iluminado, onde os peões possam circular, diminui bastante a probabilidade da ocorrência de um acidente, na medida em que de noite, a menos que os peões usem dispositivos refletores, os condutores não serão capazes de os ver a tempo de pararem (Zegeer *et al.*, 2002). No Quadro 6 pode-se ver uma comparação de alguns tipos de acidentes que ocorrem com veículos motorizados com iluminação ou sem ela.

Quadro 6 - Dados de tipos de acidentes com veículos motorizados com base nos níveis de iluminação (Sullivan *et al.*, 2006)

Tipo de acidente	Condições de iluminação		Total
	Sem luz	Luz	
Peão - Crianças	349	252	601
Peão - Adulto	1635	243	1878
Peão - Idosos	845	126	971
Animal	61	11	72

Como se pode constatar, os ambientes mais iluminados garantem maior segurança ao peão, e logo em zonas comerciais ou no centro das cidades que é onde se verifica uma maior concentração de peões deve ser colocado ao longo dos passeios iluminação com intensidade uniforme para melhorar o conforto e a segurança (Zegeer *et al.*, 2002).

Graças a trabalhos como de Sullivan *et al.* (2006), já apresentado no Quadro 6, e de Elvik (1995), pode-se observar a importância de uma adequada iluminação para garantir-se a segurança não só dos peões como também dos utilizadores das vias públicas em geral. Elvik (1995) contribui talvez com uma das mais claras avaliações sobre a importância da iluminação, concluindo que nos locais onde a mesma foi instalada ou melhorada (Elvik, 1995):

- Diminuiu 65 % no número de acidentes fatais em período noturno;
- Diminuiu 32 % no número de acidentes com feridos em período noturno;
- Diminuiu 15% no número de acidentes em período noturno

As medidas usadas para avaliar a iluminação nos passeios e estradas são:

- Iluminância – É a quantidade de luz que incide na superfície. É medido como a quantidade de lumens por unidade de área (lux). Esta é fácil de calcular e medir, pois não é necessário

ter em conta as propriedades de reflexão da superfície da estrada e apenas necessita de um medidor de iluminância para a medição em campo. A desvantagem desta é que a quantidade de fluxo luminoso que atinge uma superfície muitas vezes não é indicativo de quão brilhante a superfície será ou quão bem uma pessoa pode ver.

- Luminância – É a quantidade de luz que reflete a partir da superfície na direção do observador. É, no entanto mais completa do que a iluminância por considerar não só a quantidade de luz que atinge uma superfície, mas também a quantidade de luz que é refletida (Lutkevitch *et al.*, 2012). É expressa em candela por metro quadrado (Cd/m^2).

Dado o peso da iluminação na segurança dos utilizadores da via pública, e sendo o peão um dos utilizadores mais desprotegidos, decidiu-se estudar na parte prática desta dissertação a reflexão dos diferentes materiais que compõem a superfície dos pavimentos.

Com este estudo, e sabendo que o material da superfície do pavimento tem um peso significativo na reflexão, e consequentemente na maior iluminação (Ylinen *et al.*, 2011) dos passeios, pretende-se perceber qual o material que poderá oferecer maior reflexão e, desse modo, maior iluminação ao passeio quando comparados diferentes materiais que constituem diferentes tipos de passeios. Inicialmente procurou-se realizar o ensaio com a utilização do refletómetro Memphis desenvolvido pela Schreder e pela Universidade de Liege e que permite determinar várias características da reflexão do pavimento, sendo usado em vários trabalhos científicos para esse fim, tal como o trabalho de Jackett *et al.* (2009). Como não foi possível usar esse equipamento, optou-se pela utilização de um fotómetro da Tektronix que foi usado noutros trabalhos (Vicente, 2005) para determinação das características de visibilidade das marcas rodoviárias, e que também permite determinar de forma simples a luminância e a iluminância. Embora este último estudo não se assemelhe ao campo prático desta dissertação, o facto de ser possível obter as medidas métricas que se pretende estudar levou à sua utilização.

2.3.6 Caracterização Funcional de Passeios

Garantir qualidade nas características funcionais, quer aquando a sua construção quer ao longo da sua vida de utilização é um ponto-chave para a qualidade dos passeios. Apresenta-se de seguida algumas características funcionais a garantir nos passeios, que devido à sua

importância, como comprovam outros estudos já realizados, serão posteriormente alvo de estudo na parte prática desta dissertação.

Atrito

O atrito é um parâmetro fundamental para a segurança dos peões, e conseqüentemente tem influência nos custos indiretos relacionados com os cuidados de saúde provocados pelas quedas destes. Este é uma propriedade física, medida utilizando equipamento específico sob condições padronizadas. Normalmente, o atrito é medido em piso molhado, isto porque quase todas as camadas de desgaste apresentam bons níveis de resistência à derrapagem em piso seco (Menezes, 2008).

Uma vasta gama de métodos e equipamentos estão disponíveis para medir o atrito. A medição pode ser feita em contínuo (métodos dinâmicos) ou num ponto específico (métodos estáticos). Em Portugal os equipamentos mais usados para medição do atrito em contínuo são o SCRIM (*Side Force Coefficient Road Inventory Machine*) e o Grip-Tester. Estes equipamentos medem a resistência à derrapagem em piso molhado. Para a medição do atrito pontual o método mais utilizado é o Pendulo Britânico e interessa a estudos de pontos localizados do pavimento, ou ainda estudos de agregados em laboratório (Menezes, 2008).

Embora ainda não existam muitos estudos acerca da resistência ao deslizamento nos passeios este é deveras importante, como mostra o estudo do *Health and Safety Executive* (HSE, 2007) que dá conta que existem mais de 35 mil pessoas por ano que sofrem acidentes na área de trabalho devido a escorregamento e que a cada 3 minutos ocorre um acidente grave.

Embora este estudo seja referente a acidentes em locais de trabalho, facilmente se compreende que os peões estão expostos ao mesmo risco quando circulam pelos passeios. Desse modo, decidiu-se estudar este parâmetro na parte prática desta dissertação.

Os valores padrão para avaliar os resultados da resistência ao deslizamento são baseados no trabalho da *Building Research Station* que teve o seu início em 1960 e foram verificados por investigadores ao longo dos últimos 40 anos (UKSRG, 2005). Este trabalho sugere que para peões razoavelmente ativos em idades compreendidas entre os 18 e os 60, obter-se no teste do pêndulo (PTV) um nível de 36 ou superior representa um baixo risco de escorregar durante o caminhar em linha reta sobre uma superfície plana. O Quadro 7 resume os resultados do

trabalho e será usado como valor de referência para a análise dos resultados dos ensaios realizados no trecho.

Quadro 7 - Valores de referência do ensaio do pêndulo britânico (UKSRG, 2005)

Risco de escorregamento para peões	PTV
Elevado risco de escorregamento	0-24
Moderado risco de escorregamento	25-35
Baixo risco de escorregamento	36+

Textura

Outra propriedade dos pavimentos de passeios com interesse para avaliar a sua qualidade é a textura. De facto, a principal maneira de caracterizar a superfície de um pavimento é por meio da avaliação da sua textura, reconhecida em quatro escalas: microtextura, macrotextura, megatextura e irregularidade (Silva, 2008, citado em ABPv, 2009). No Quadro 8 apresenta-se a classificação da textura de um pavimento.

Quadro 8 - Classificação da textura de um pavimento (Bernucci *et al.*, 2007 citado em ABPv, 2009)

Classificação da textura	Faixa de comprimento de onda
Microtextura	$\lambda < 0,5 \text{ mm}$
Macrotextura	$0,5 \text{ mm} \leq \lambda < 50 \text{ mm}$
Megatextura	$50 \text{ mm} \leq \lambda < 500 \text{ mm}$

A microtextura está relacionada com a própria superfície do agregado mineral, a qual pode ser áspera ou polida. A maneira mais comum de se medir a microtextura é através do ensaio do pêndulo britânico (Specht *et al.*, 2007)

A macrotextura são asperezas superficiais do pavimento e correspondem ao tamanho do agregado. Está relacionada á capacidade do pavimento drenar a água superficial e pode ser medida por um método volumétrico nomeadamente o mancha de areia (Specht *et al.*, 2007).

A megatextura, em geral, é o resultado das deformações e degradações de comprimento reduzido da superfície da camada de desgaste e condiciona a comodidade e a estabilidade dos utilizadores (Freitas, 2008).

A avaliação da textura superficial constitui uma propriedade importante para a avaliação da qualidade funcional de um pavimento. Desse modo decidiu-se estudá-la e para se proceder à sua avaliação, recorrendo-se ao método de mancha de areia, que permite a caracterização pontual da macrotextura da superfície dos pavimentos usados em passeios. Salienta-se que a seleção de métodos pontuais para análise da qualidade também se relaciona com a dificuldade em realizar ensaios em contínuo em passeios.

Irregularidade longitudinal e transversal

A irregularidade nos passeios pode ser provocada por uma série de fatores, incluindo as peças que constituem os passeios estarem levantadas, partidas ou rachadas, buracos ou irregularidade provocada pelas raízes das árvores, entre outros (GSLLP, 2013). Existem dois tipos de irregularidade: i) a longitudinal que está ligada mais diretamente à sensação de desconforto provocada nos utentes e ii) a transversal.

A irregularidade longitudinal de um pavimento, quer seja um pavimento rodoviário ou de um passeio, representa o conjunto dos desvios indesejáveis da sua superfície, que gera insegurança e desconforto aos utentes e acelera a degradação do pavimento (Barella, 2008).

A irregularidade do perfil longitudinal pode ser analisada sob dois aspetos:

- Geométricos (variações da geometria existente relativamente à geometria ideal);
- Efeitos físicos provocados pela irregularidade.

Estes dois tipos de análise definem a irregularidade longitudinal de modos diferentes. No primeiro caso, a irregularidade longitudinal é considerada como sendo o conjunto de desnivelamentos da superfície do pavimento em relação ao seu perfil teórico. No segundo caso, a noção de irregularidade compreende todos os defeitos da superfície do pavimento. A avaliação da irregularidade de acordo com cada um dos tipos de análise realiza-se com equipamentos de medida diferenciados (Menezes, 2008).

Ao longo das últimas décadas foram sendo desenvolvidos diferentes tipos de equipamentos para avaliação da irregularidade, sendo de referir os seguintes:

- Equipamentos baseados na resposta dinâmica de um veículo;
- Equipamentos de referência geométrica simples;

- Equipamentos baseados na obtenção de uma “imagem” do perfil da superfície do pavimento (Menezes, 2008).

Neste trabalho usou-se um equipamento de referência geométrica simples, tal como a régua de 3 metros modificada através de instrumentação para caracterização da irregularidade dos pavimentos. Este equipamento segue princípios semelhantes aos usados pelos equipamentos multifunções para avaliação da qualidade de um pavimento e enquadram-se muito mais no tipo de avaliação que se pretende. De facto, na medida em que se irá estudar a irregularidade dos passeios, estes não possuem nem largura nem extensão suficientes para a realização de ensaios com o multifunções ou outros equipamentos associados a veículos usados para caracterização da irregularidade em estradas.

A Irregularidade transversal é de igual modo um fator importante para avaliar a qualidade global de um passeio. Problemas nesta propriedade estão diretamente relacionados com desconforto e com possíveis quedas por parte dos peões.

A observação da irregularidade transversal consiste na obtenção do perfil transversal do pavimento numa determinada época, tendo interesse para:

- Avaliar se a inclinação transversal se ajusta à do projeto (controlo de qualidade);
- Detetar zonas onde se possa verificar acumulação de água;
- Avaliar a evolução do comportamento do pavimento quanto a fenómenos de pós-compactação, deformações plásticas e assentamentos diferenciais (Pereira *et al.*, 1999).

Para a avaliação desta irregularidade usou-se o mesmo equipamento que permite avaliar a irregularidade longitudinal, cujo funcionamento se descreve no próximo Capítulo sobre as metodologias de ensaio utilizadas neste trabalho.

3 SELEÇÃO DE TRECHOS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

3.1 Introdução

Como já foi referido no Capítulo 2, existem vários materiais que podem ser usados na pavimentação de passeios, como o betão, material betuminoso, tijolo ou pedra. Os passeios em betão são os mais usados, principalmente em países como os Estados Unidos e Canada, devido a possuírem maior vida de serviço e necessidade de pouca manutenção.

Em Portugal, e particularmente em Braga e Guimarães que são as cidades que serão alvo de estudo na parte prática deste trabalho, constatou-se a existência de uma panóplia de soluções para os passeios. Procurou-se assim seleccionar trechos compostos por diferentes tipos de pavimentos, com diferentes graus de degradação e com comprimento e largura significativos de modo a se poder realizar os ensaios pretendidos para estes com suficiente representatividade. Os ensaios que permitiram realizar a caracterização funcional dos trechos foram os de textura, atrito e regularidade longitudinal e transversal, bem como a resposta de cada material que constitui o pavimento em termos de reflexão da luz pública.

No final deste trabalho pretende-se concluir, para os trechos estudados, qual ou quais os tipos de pavimentos que demonstraram ter mais vantagens para circulação de peões, apresentando-se posteriormente, no capítulo 4, os resultados práticos obtidos. Salienta-se que o estudo efetuado é uma primeira aproximação à avaliação da qualidade dos passeios, e visto que não era viável a caracterização ao nível de toda a rede pedonal duma cidade, os resultados apresentados devem ser interpretados apenas no âmbito específico dos trechos estudados. De facto, dá-se como exemplo a irregularidade que depende muito de outros fatores extrínsecos à tipologia de pavimento em análise, e que por isso não permitem generalizar os resultados deste trabalho antes duma análise a uma escala muito mais abrangente.

3.2 Descrição dos Trechos Experimentais

Para a realização deste estudo foi realizada a escolha de 6 trechos com base nos critérios já explicados anteriormente. A caracterização destes após uma análise visual efetuada poderá ser observada no Quadro 8.

Quadro 9 - Caracterização dos trechos analisados neste trabalho

Caracterização	Trecho					
	Lajetas pré-fabricadas de Betão	Cubos de calcário	Betuminoso (Guimarães)	Betuminoso (Braga)	Lajeado de granito	Blocos de betão
Estado	Bom estado	Bom estado	Bom estado	Mau estado	Bom estado	Mau estado
Iluminação	Baixa iluminação	Boa iluminação	Baixa iluminação	Baixa iluminação	Baixa iluminação	Baixa iluminação
Obstáculos	Sim (árvores)	Pontuais (iluminação)	Sim (árvores)	Sim (árvores)	Não existentes	Não existentes
Comprimento	50 metros	50 metros	50 metros	50 metros	30 metros	50 metros
Largura bruta	6,9 metros	5,2 metros	4,5 metros	5,0 metros	5,0 metros	4,8 metros
Largura útil	3,3 metros	3,6 metros	2,9 metros	3,50 metros	5,0 metros	4,0 metros

A escolha pelos parâmetros de caracterização indicados prende-se com o facto de estes permitirem descrever o trecho nas suas características mais importantes, e que contribuirão para o sucesso de uma rede pedonal. Descreve-se em seguida cada um dos parâmetros de caracterização utilizados:

- Estado do pavimento – Descreve o estado geral atual do trecho, ou seja, se o passeio se encontra bem conservado e com boa qualidade de circulação, o que promove o conforto do percurso e reduz o risco de quedas nos peões.
- Iluminação – Ilustra a visibilidade presente nos diferentes passeios. É um fator que contribui bastante para a sensação de segurança por parte dos peões.
- Obstáculos – Indica a existência ou não de obstáculos ao longo do trecho, sejam eles árvores, postes de iluminação, sinalização vertical, caixotes do lixo, entre outros. A presença destes não tem uma conotação negativa na qualidade e segurança dos trechos, desde que sejam respeitadas as larguras mínimas para os passeios abordadas no Capítulo 2.
- Comprimento – Apenas indica a extensão do trecho a ensaiar.
- Largura bruta – Indica a largura total dos passeios.
- Largura útil – Indica a largura realmente circulável, subtraindo à largura bruta a largura perdida com a presença de obstáculos.

De seguida serão apresentadas a localização e os principais pormenores de cada um dos trechos estudados.

3.2.1 Trecho em Lajetas Pré-Fabricadas de Betão

O trecho selecionado (Figuras 17) localiza-se na cidade de Guimarães, na Alameda Doutor Alfredo Pimenta. É um passeio muito requisitado para lazer, acesso à escola secundária Francisco de Holanda e ponto de passagem para outros pontos da cidade. Este trecho é composto por blocos de betão, porém como foram selecionados dois tipos de pavimentos com esta mesma tipologia e por forma a se proceder à sua distinção, adotou-se a designação de lajetas em vez de blocos de betão. Outro motivo que levou a esta designação foi o facto de a junção dos blocos formar “lajes” como se pode observar na Figura 18 (a).

Dentro de algumas características deste trecho que não foram indicadas no Quadro 8 destaca-se a forma como este é constituído, sendo composto por elementos (lajetas), em que várias componentes formam um todo, esta classificação relaciona-se não tanto com a sua estrutura e resistência física, mas mais com a forma como se percebe o pavimento. Nestes é visível a descontinuidade na superfície do pavimento provocada pelos diversos elementos (lajetas) que compõem o trecho o que poderá contribuir para alguma inconstância nos resultados devido ao facto de cada elemento possuir algumas diferenças entre si como se pode verificar apenas com a análise visual (Figura 18 (b)). Ao longo deste estão presentes algumas zonas de comércio denotando-se uma maior irregularidade e desgaste das lajetas nesses locais.



Figura 17 - Localização do trecho de passeio construído com lajetas pré-fabricadas de Betão

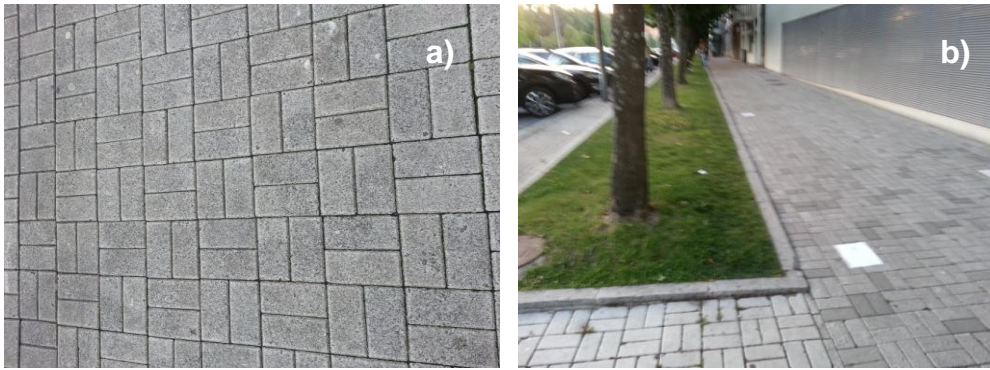


Figura 18 - a) Padrão de assentamento, b) Diferença entre as lajetas pré-fabricadas de Betão

3.2.2 Trecho em Cubos de Calcário

O trecho selecionado (Figuras 19 e 20) localiza-se na cidade de Guimarães na rua de Santo António. Serve uma zona de habitação e de lazer, e permite o acesso a outros pontos da cidade, sendo por isso bastante utilizado.

Dentro de algumas características particulares deste trecho destaca-se, tal como no trecho em lajetas, o facto de ser composto por elementos, em que várias componentes formam um todo, e que tal como no anterior poderá ter influência na inconstância dos resultados nos ensaios realizados.

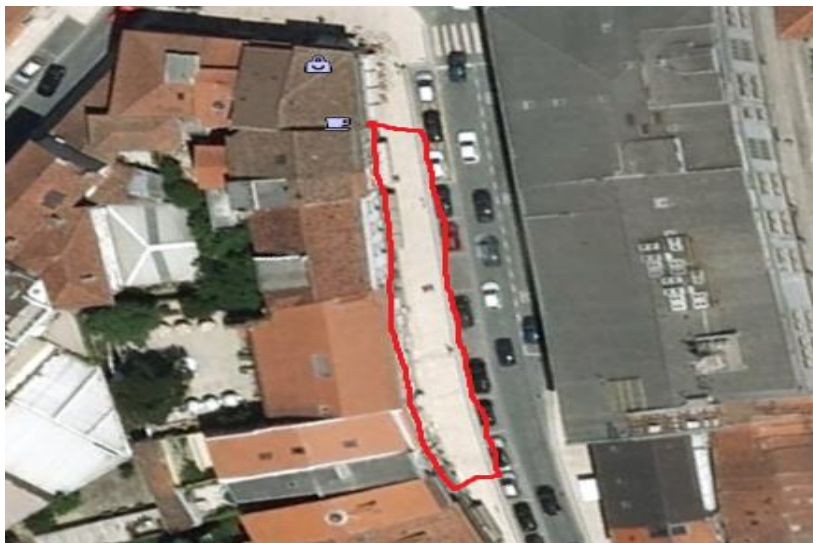


Figura 19 - Localização do trecho de passeio construído com Cubos calcário



Figura 20 - Aspeto do pavimento no trecho em cubo calcário

3.2.3 Trechos em Material Betuminoso

Foram analisados dois trechos com este tipo de material, um em Guimarães na Avenida Cónego Gaspar Estação (Figuras 21 e 22) e outro em Braga na Avenida 31 de Janeiro. Quanto à sua composição, este trecho é diferente dos anteriores por ser monolítico, ou seja, a sua construção é feita através de materiais que se ligam, transmitindo continuidade que poderá justificar a maior constância nos resultados dos ensaios práticos realizados.

O trecho localizado em Guimarães é um trecho com pouca procura, centrando-se esta no acesso local às habitações pelos residentes. A nível de degradações conta apenas com algumas fissuras nas zonas circundantes das árvores ali presentes (Figura 23).



Figura 21 - Localização do trecho de passeio construído em betuminoso (Guimarães)



Figura 22 - Aspeto do pavimento no trecho em betuminoso (Guimarães)



Figura 23 - Fissuras no passeio junto às árvores

O trecho em betuminoso na cidade de Braga (Figuras 24 e 25) tem uma procura significativa, quer como meio de acesso para o centro da cidade, quer como acesso a habitações, encontrando-se bastante degradado com a presença de zonas irregulares, buracos no passeio e zonas fendilhadas, nomeadamente devido à instalação de condutas enterradas (Figura 26).

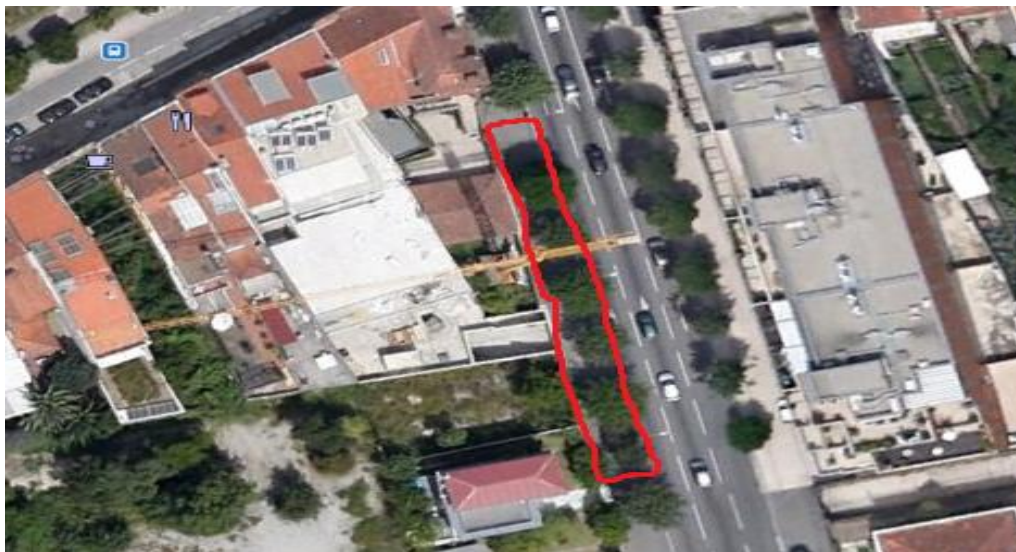


Figura 24 - Localização do trecho de passeio construído em betuminoso (Braga)

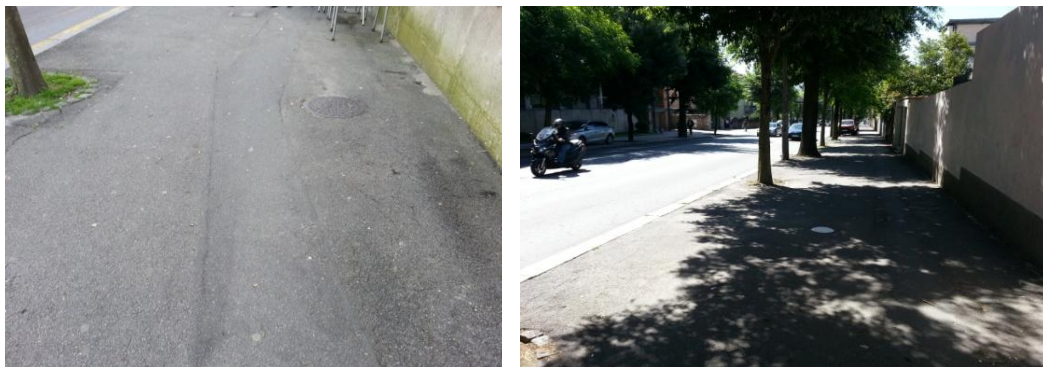


Figura 25 - Aspeto do pavimento no trecho em betuminoso (Braga)



Figura 26 - Degradações no trecho em betuminoso (Braga)

3.2.4 Trecho em Lajeado de Granito

O trecho selecionado em lajeado de granito (Figuras 27 e 28) localiza-se no centro histórico da cidade de Guimarães, junto à Câmara Municipal. É um trecho com pouca procura, mas que se enquadra numa tipologia mista, uma vez que é partilhado por peões e por alguns veículos restritos à Câmara Municipal.



Figura 27 - Localização do trecho de passeio construído em lajeado de granito

É composto por elementos ligeiramente irregulares que, por vezes, apresentam um afastamento considerável nas juntas que ligam as lajes de granito, o que o torna mais irregular (o que poderá influenciar negativamente os resultados relativos a esta propriedade).



Figura 28 - Aspeto do pavimento no trecho em lajeado de granito

3.2.5 Trecho em Blocos de Betão

Este trecho (Figuras 29 e 30) encontra-se na cidade de Braga na rua Dom João Cândido de Novais e Sousa e é essencialmente pedonal, permitindo também o acesso de veículos para cargas, descargas e saída dum parque de estacionamento.



Figura 29 - Localização do trecho de passeio construído com blocos de betão

Este trecho apresenta bastante irregularidade, quer devido às tampas de saneamento e de drenagem de águas, bem como à própria degradação do trecho.



Figura 30 - Aspeto do pavimento no trecho em blocos de betão

3.3 Métodos de Ensaio Utilizados

Por forma a determinar as características funcionais mencionadas no capítulo 2, realizaram-se alguns ensaios nos trechos selecionados, que são apresentados de seguida.

3.2.1 Método da Mancha de Areia

No presente trabalho experimental, utilizou-se o método da “mancha volumétrica”, também designado por “mancha de areia”, para a determinação da profundidade média da textura da superfície dos pavimentos dos passeios.

Este método consiste no espalhamento de um volume conhecido de areia ou de esferas de vidro sobre uma superfície seca e limpa do pavimento. Posteriormente são medidos os diâmetros da área coberta (Figura 31).



Figura 31 - Exemplo do método “mancha de areia”

Através da divisão do volume do material espalhado pela área da superfície resultante obtém-se um valor que representa a profundidade média da camada de areia ou de esferas de vidro,

ou seja, a profundidade média da textura (Equação 1). Este ensaio foi realizado consoante a norma EN 13036-1.

$$MTD = \frac{4V}{\pi D^2} \quad (1)$$

Onde:

MTD é a profundidade média da textura, expressa em milímetros (mm);

V é o volume da amostra (isto é, o volume interno do cilindro), expresso em milímetros cúbicos (mm³)

D é o diâmetro médio da área coberta pelo material, expresso em milímetros (mm)

O material necessário para realizar o ensaio é o seguinte:

- Um recipiente com determinado volume de areia (ou esferas de vidro);
- Um disco circular, com superfície de espalhamento em borracha dura;
- Uma régua graduada em mm.

As medições realizadas pretendem avaliar a textura dos trechos. Para isso realizou-se medições em distâncias espaçadas de 10 metros por forma a poder caracterizar todo o trecho. Procurou-se realizar as medições no centro dos passeios de cada trecho, na medida em que esta é a zona mais procurada pelos peões que os utilizam. Além disso, os ensaios foram realizados em piso seco, como exigido na norma de ensaio.

Na Figura 32 ilustra-se o resultado da aplicação deste método num dos trechos em estudo.



Figura 32 - Exemplo da aplicação do método de ensaio da “mancha de areia” num trecho

3.2.2 Método do Pêndulo Britânico

Para a determinação do atrito da superfície dos diferentes trechos, usou-se o método do pêndulo britânico. O Pêndulo Britânico é um equipamento portátil (Figura 33) utilizado para avaliar as características de aderência de um pavimento. A grandeza obtida com este ensaio é o PTV (*Pendulum test value*), ou seja, o valor do teste do pêndulo, representando indiretamente o atrito longitudinal que se obteria entre o calçado dos pés e o pavimento. O método consiste em libertar o braço do pêndulo da sua posição horizontal que oscila para baixo com força uniforme cada vez que é libertado (deve agarrar-se o pêndulo no movimento de retorno, antes de atingir a superfície, por questões de manutenção do equipamento). Posteriormente aponta-se o valor numa escala correspondente à altura máxima atingida depois de ter rodado em torno do seu eixo horizontal de apoio e ter atuado sobre a superfície do pavimento molhada. O atrito entre a borracha do pêndulo e a superfície do pavimento provoca uma perda de energia do pêndulo, a qual será proporcional às características de rugosidade (microrrugosidade) dessa superfície. O ensaio foi realizado segundo a norma EN 13036-4.

Para cada ponto do pavimento, realizou-se uma série de cinco ensaios, registrando-se em cada um a leitura da escala do equipamento. Para cada um destes ensaios, deve molhar-se previamente a superfície do pavimento para ter as “piores” condições de ensaio.



Figura 33 - Pêndulo britânico utilizado para medir o atrito

Com as medições realizadas com este ensaio, pretende-se avaliar a segurança ao escorregamento por parte dos diferentes materiais que compõem os trechos, comparando os resultados com os valores exigidos nas normas europeias. Para isso realizou-se medições a cada 10 metros por forma a caracterizar-se o trecho em termos de resistência ao deslizamento.

Tal como no ensaio da mancha de areia, procurou-se realizar as medições no centro dos passeios devido à maior procura desta zona por parte dos peões. As medições foram efetuadas em período diurno e com piso molhado, pois como preconiza a norma a zona a ensaiar deve ser molhada para simular as condições de pior aderência do passeio.

3.2.3 Avaliação da Irregularidade com Régua de 3 Metros Instrumentada

O perfil longitudinal e transversal de um passeio é um fator importante na avaliação da sua qualidade global e grau de atratividade nos percursos dos peões. Um perfil longitudinal e transversal muito irregular pode afetar o conforto e a segurança dos peões. Com o intuito de caracterizar a irregularidade longitudinal e transversal dos trechos usou-se uma régua de 3 metros instrumentada.

Este método, tal como o nome indica, é composto por uma régua com 3 metros de comprimento modificada através de instrumentação. Esta consiste na existência de um carrinho com um sensor que mede a distância até à superfície a ensaiar, e que se desloca ao longo da régua (Figura 34) movido por um motor fixado numa das extremidades. Todos estes componentes estão ligados a uma placa de aquisição de dados.

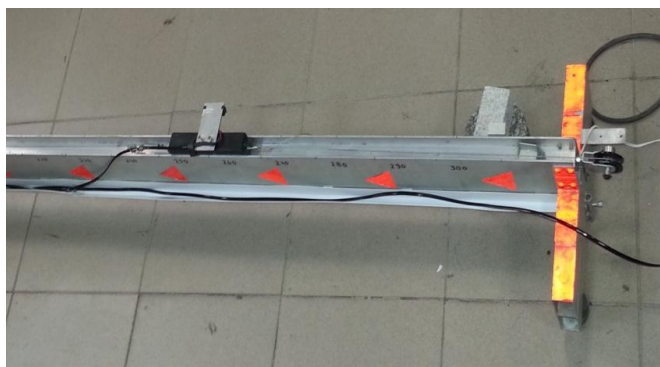


Figura 34 - Carrinho com sensor na régua de 3 metros instrumentada

Realizou-se duas medições distintas com este equipamento, realizando-se a nivelção da régua antes de cada ensaio. Uma foi feita longitudinalmente ao longo do trecho (Figura 35) e em contínuo (embora dividida por troços de 3 metros) por forma a obter-se o perfil longitudinal. A outra foi feita transversalmente (Figura 36) a cada 10 metros por forma a se perceber como cada trecho se comporta em termos de irregularidade transversal.



Figura 35 - Medição longitudinal com a régua de 3 metros instrumentada



Figura 36 - Medição transversal com a régua de 3 metros instrumentada

A determinação da irregularidade do passeio consistiu no cálculo do IRP (índice de regularidade do passeio, semelhante ao IRI usado em pavimentos rodoviários). Para determinação do IRP utilizou-se as medições obtidas com o LVDT (sensor) e traçou-se o gráfico “real” dos desníveis presentes no trecho (Figura 37). Posteriormente, e como a régua se encontrava nivelada, realizou-se um gráfico com as diferenças da primeira medição obtida com o sensor e as restantes ao longo da régua. Com esse gráfico, e como o trecho era de curta extensão, traçou-se uma reta que permite-se ligar o primeiro e último ponto de cada medição de 3 metros por forma a representar qual seria o perfil expectável (Figura 38). Posteriormente foi assumido que as diferenças absolutas das várias leituras em relação ao perfil expectável representam a irregularidade, e determinou-se a área do gráfico definido por essas diferenças ao longo do trecho, por forma a determinar com IRP para o comprimento total do trecho.

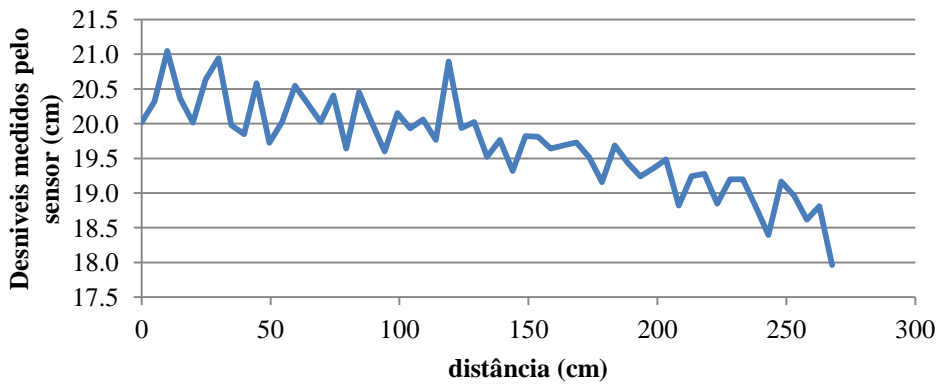


Figura 37 - Representação dos resultados obtidos com a medição dos desníveis pelo sensor longitudinalmente num troço de 3 metros

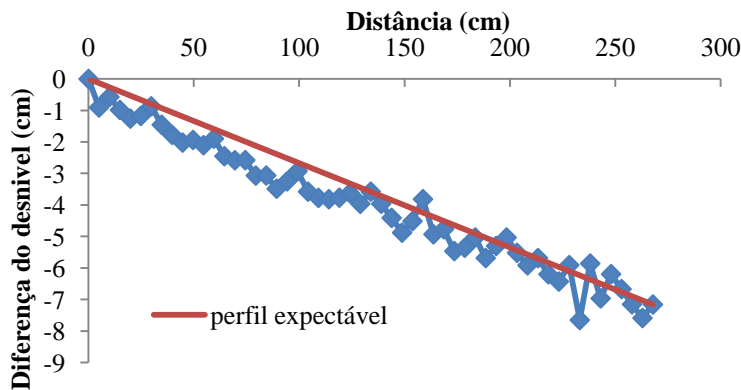


Figura 38 – Representação da diferença do desnível do perfil expectável e do perfil real num troço de 3 metros

Nos perfis longitudinais realizaram-se dois cálculos de determinação de IRP. O primeiro foi a determinação do IRP_L (índice de regularidade do passeios longitudinal) ao fim de cada 3 metros (comprimento da régua), que é expresso em m^2/m . O segundo foi o cálculo do IRP_{L50} , que não é mais que a determinação deste índice de irregularidade de passeios para um comprimento base de 50 centímetros, sendo expresso em m/m . O valor de IRP_{L50} resulta do estudo das irregularidades obtidas no ensaio, estudando-se apenas aquelas que estavam compreendidas em intervalos de 50 cm (comprimento de um passo). Os valores que não se encaixavam nestes intervalos foram desprezados. Com este cálculo pretende-se estudar de forma mais pormenorizada a irregularidade sentida quando os peões caminham, o que depende muito das condições de conservação do trecho (não podendo ser relacionado apenas com o tipo de materiais usados). Longitudinalmente realizou-se os ensaios no centro dos passeios de cada trecho pelos motivos já apresentados anteriormente.

Para os ensaios transversais apenas se calculou o IRP_T (índice de regularidade de passeios transversal), visto que como se estudou apenas uma largura de 3 metros obter-se-iam poucos valores de IRP_{50} . Estes ensaios foram realizados do fim do trecho para o início, isto é, o ponto de ensaio 1 foi realizado a 50 metros do início do trecho, sendo que o ponto 2 a 40 metros e assim sucessivamente.

Salienta-se que as leituras por parte do sensor foram obtidas para distâncias de 4,96 cm entre elas e as medições foram realizadas em período diurno e piso seco. Este intervalo foi definido como sendo o intervalo mínimo que garantia um funcionamento estável do equipamento.

3.2.4 Método para Determinação da Reflexão do Pavimento

Para determinação da reflexão do pavimento usou-se o equipamento *J18 LumaColor II Photometer* juntamente com os acessórios *J1811 Illuminance Head* e *J1803 Luminance Head* da Tektronix, que são apresentados respetivamente nas Figuras 39, 40 e 41. O aparelho de medição fornece diretamente o valor da iluminância ou luminância dependendo do uso complementar do acessório *J1811 Illuminance Head* ou *J1803 Luminance Head*.

Este ensaio foi realizado *in situ* e em laboratório, visto que as condições de luminosidade *in situ* variavam muito de trecho para trecho, e também era importante compreender as diferenças de desempenho em condições controladas de luminosidade (em laboratório).



Figura 39 - Equipamento de medição *J18 Lumacolor II Photometer*

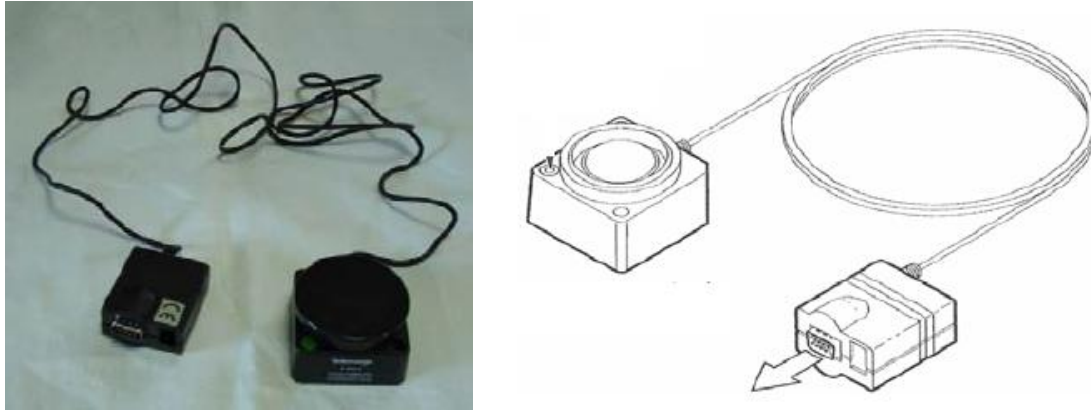


Figura 40 - Acessório para medição da iluminância *J1811 Illuminance Head*



Figura 41 - Acessório para medição da luminância *J1803 Luminance Head*

Determinação da reflexão *in situ*

Com as medições efetuadas pretende-se avaliar a quantidade de luminosidade nos diversos trechos, pela medição da iluminância, e a quantidade de luz refletida pela superfície dos pavimentos pela medição da luminância.

As medições foram apenas realizadas em período noturno, quando o sentimento de insegurança na circulação de peões é maior, e também porque se procurou estudar a adequação das condições de iluminação vinda dos postes de iluminação pública.

Foram realizadas medições em pontos distintos ao longo do trecho, sendo eles:

- Início do trecho;
- Junto aos postes do sistema de iluminação;
- Entre os postes do sistema de iluminação;
- Fim do trecho.

Os valores da iluminância e da luminância são obtidos diretamente com este aparelho. No caso da luminância basta apontar a cabeça adequada para a superfície do passeio que se pretende medir, a 1 metro de altura na vertical (condição que se manteve em todas as leituras realizadas neste trabalho), e desta forma obtém-se a luminosidade em cada local. Já no caso da iluminância, a outra cabeça adequada para este fim é apoiada na superfície do pavimento e registam-se os valores obtidos.

As condições de iluminação variam muito de trecho para trecho, devido às singularidades de cada um, quer seja ao nível da altura dos postes de iluminação, quer devido à intensidade luminosa ou mesmo devido à presença ou não de árvores. Tal como referido anteriormente, e com o intuito de se controlar essas diferenças de luminosidade (que também influenciam a reflexão), realizou-se o ensaio em laboratório nas condições mencionadas em seguida, para obter as diferenças de iluminância diretamente ligadas ao material de cada trecho.

Determinação da reflexão em laboratório

Para a determinação das diferenças de reflexão por parte da superfície dos vários pavimentos, realizou-se as medições em laboratório em condições de iluminação controlada. Como não se conseguiram realizar as medições exatamente com o mesmo material usado nos trechos em estudo, procurou-se ensaiar com a mesma tipologia de material.

As medições foram realizadas em cima de uma mesa, onde incide diretamente a luz proveniente de uma lâmpada situada a 2,55 metros do tampo da mesa. Pretende-se, deste modo, oferecer a mesma quantidade de luz incidente (iluminância) em todas as medições.

Os diferentes tipos de materiais usados para simular as condições de pavimentação dos trechos foram:

- Granito (Figura 42 (a))
- Mistura Betuminosa (Figura 42 (b))
- Betão (Figura 42 (c))
- Calcário (Figura 42 (d))



Figura 42 - Materiais usados nas medições em laboratório

Após a descrição dos trechos a estudar e dos procedimentos de ensaio utilizados, apresenta-se no próximo Capítulo os resultados obtidos, cuja análise permite chegar às principais conclusões deste trabalho.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Método da Mancha de Areia

4.1.1 Trecho em Lajetas Pré-Fabricadas de Betão

Os valores obtidos neste trecho no ensaio da mancha de areia são apresentados na Figura 43.

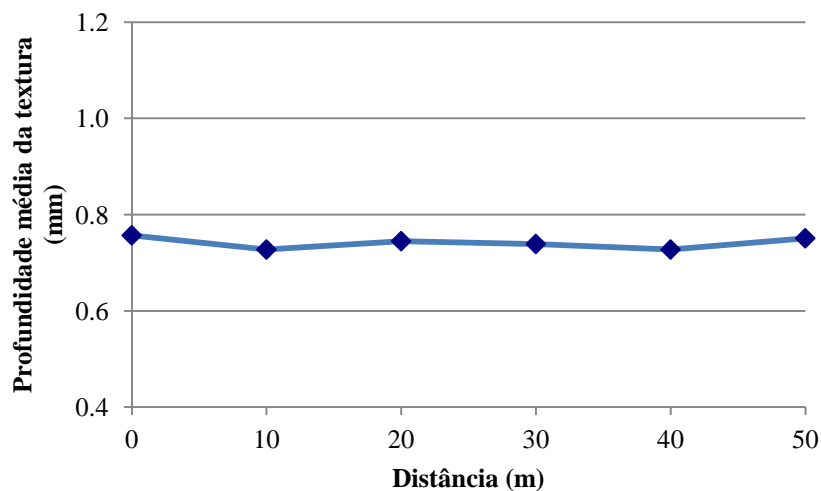


Figura 43 - Profundidade média da textura no trecho com lajetas pré-fabricadas de Betão

Verificou-se uma homogeneidade da textura ao longo do trecho, obtendo-se uma profundidade média da textura entre os 0,7 e 0,8 mm. Estes valores encontram-se dentro do intervalo de validade (0,25 a 5,00 mm) para este ensaio, segundo a norma EN 13036-1.

Este tipo de pavimento é composto por elementos (blocos), em que várias componentes formam um todo, como já foi explicado anteriormente, e essa composição poderia antever alguma inconstância na textura, o que não foi o caso. Isso poderá estar relacionado com o facto de as lajetas que constituem o trecho serem de pequenas dimensões, e mesmo sendo visível a diferença na textura entre elas (Figura 44 (a)), como o ensaio abrange várias lajetas essa diferença não se é feita notar (Figura 44 (b)), obtendo-se um trecho aparentemente uniforme na textura. Este ensaio foi realizado em 6 pontos espaçados 10 metros entre si, como já foi explicado anteriormente, e a sua localização poderá ser observada na Figura 45.

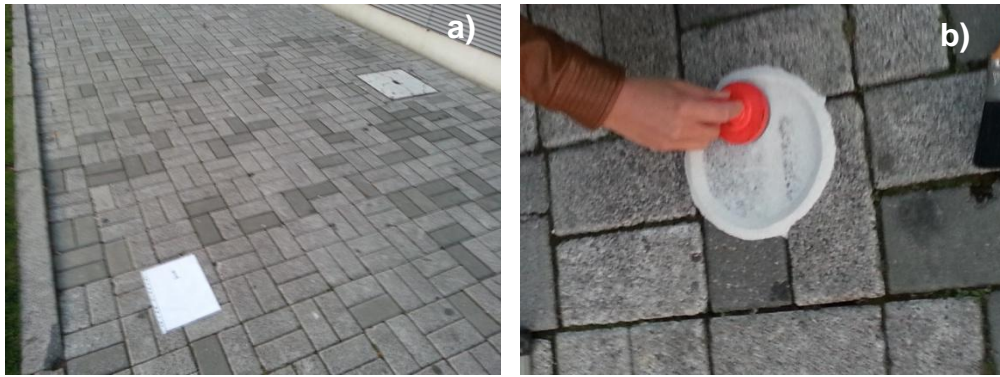


Figura 44 - a) Diferença entre as Lajetas e b) Pormenor do ensaio de mancha de areia

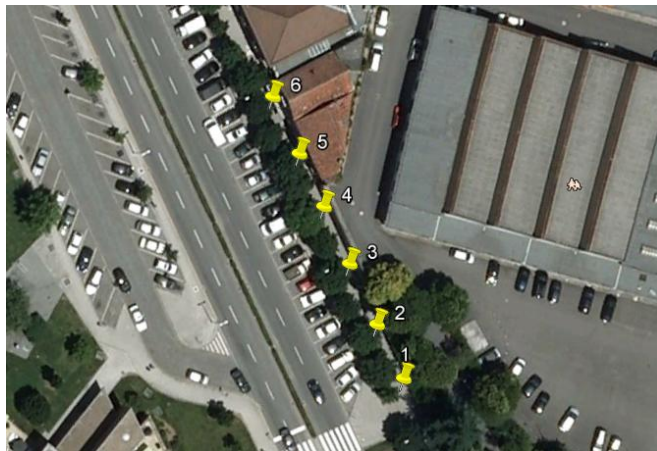


Figura 45 - Localização dos pontos de ensaio no trecho em lajetas pré-fabricadas de betão

4.1.2 Trecho em Cubos de Calcário

Os resultados do ensaio de mancha de areia no trecho em cubos de calcário apresentam-se na Figura 46.

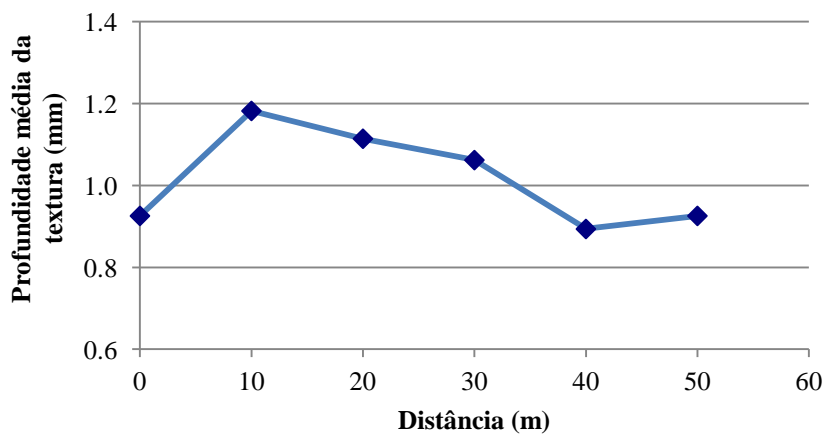


Figura 46 - Profundidade média da textura do trecho em cubos de calcário

Pode-se observar uma irregularidade da profundidade média da textura ao longo do trecho, que apresenta valores compreendidos entre 0,8 e 1,2 mm. Este trecho, tal como o anterior, é composto por elementos (cubos de calcário) e não apresenta um padrão de assentamento uniforme o que poderá contribuir para a heterogeneidade observada nos resultados.



Figura 47 - Ensaio de mancha de areia e padrão de assentamento disforme no trecho em cubos de calcário

O ponto de ensaio 2 apresenta o maior valor da profundidade média da textura e está relacionado com a realização do ensaio numa zona onde os cubos de calcário formavam uma malha mais aberta no seu assentamento, o que terá provocado os valores apresentados. No ponto 1 (Figura 47) devido á existência de uma esplanada e ao maior desgaste dos cubos de calcário, esperar-se-ia maiores valores da profundidade média da textura, mas o facto do ensaio abranger vários cubos e estes possuírem diferentes graus de desgaste poderá ter influenciado os resultados.



Figura 48 - Localização dos pontos de ensaio no trecho em cubos de calcário

4.1.3 Trecho em Betuminoso

Realizou-se o ensaio de mancha de areia para os trechos em betuminoso, quer em Guimarães, quer em Braga. Da análise dos dados obtidos com o ensaio obtiveram-se os resultados apresentados na Figura 49 para o trecho de Guimarães.

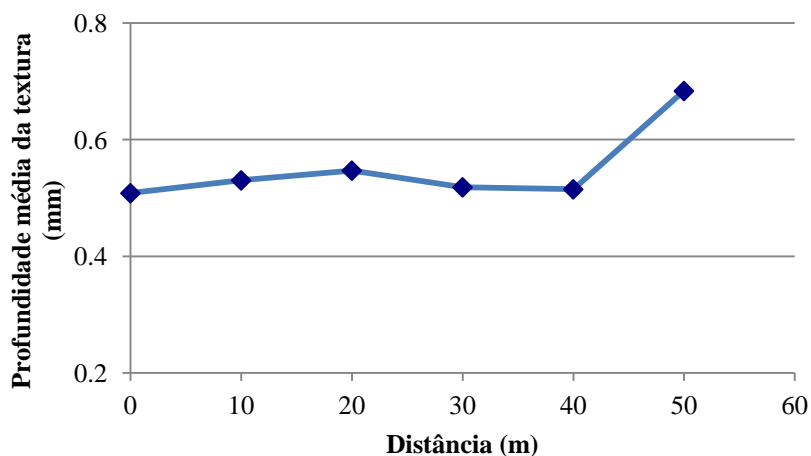


Figura 49 - Profundidade média da textura do trecho em Betuminoso (Guimarães)

Neste trecho verificou-se que a profundidade média da textura está compreendida entre 0,6 e 0,7 mm, o que demonstra a homogeneidade presente ao longo de todo o trecho. Esta uniformidade era esperada uma vez que o trecho, quanto à sua composição, é considerado monolítico, ou seja, a sua construção é feita através de materiais que se ligam, transmitindo continuidade. Um outro fator que poderá explicar esta uniformidade poderá prender-se com o bom estado de conservação do pavimento e pelo facto de este não apresentar zonas com maior desgaste (pelo menos aparentemente). Pode-se observar na Figura 50 um exemplo do ensaio da mancha de areia neste trecho, que foi realizado nos 6 pontos apresentados na Figura 51.



Figura 50 - Ensaio da Mancha de areia no trecho em betuminoso (Guimarães)



Figura 51 - Localização dos pontos de ensaio no trecho Betuminoso (Guimarães)

Na Figura 52 poder-se-á observar os pontos onde se realizou o ensaio no trecho betuminoso na cidade de Braga. Os resultados obtidos para esses pontos são apresentados na Figura 53.



Figura 52 - Localização dos pontos de ensaio no trecho Betuminoso (Braga)

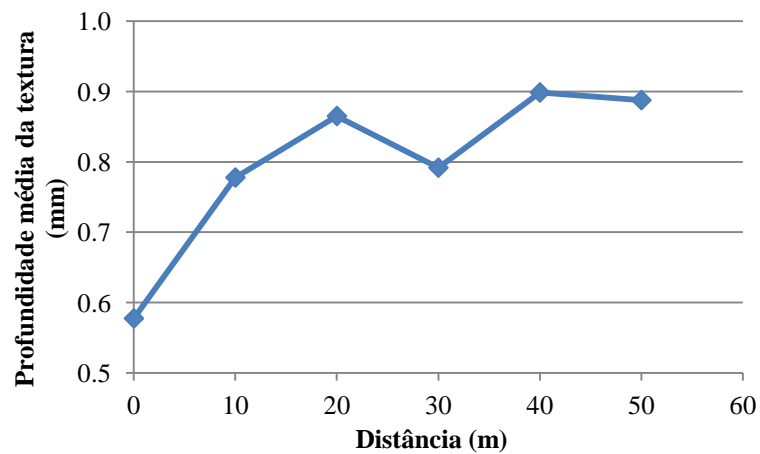


Figura 53 - Profundidade média da textura do trecho em Betuminoso (Braga)

Este trecho apresenta uma irregularidade nos valores da profundidade média da textura ao longo da extensão ensaiada. Embora o trecho seja monolítico quanto à sua composição, essa irregularidade era expectável, uma vez que o trecho se encontra bastante degradado, existindo mesmo zonas onde se pode observar a diferença de idades das aplicações da camada superficial (Figura 54 (a)). Os primeiros 10 metros estão em relativo bom estado de conservação, sendo que a partir daí o trecho encontra-se bastante degradado e a heterogeneidade é resultado disso mesmo. Na Figura 54 (b) pode-se vislumbrar um exemplo do ensaio de mancha de areia neste pavimento.

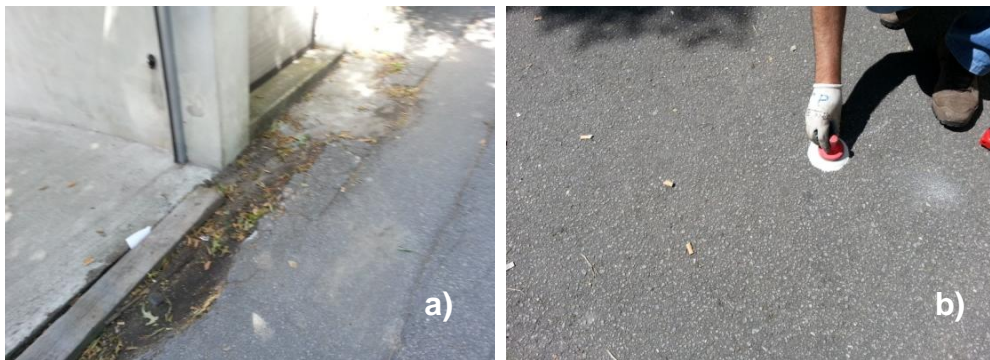


Figura 54 - a) Condições heterogéneas de pavimentação; b) Ensaio da mancha de areia em pavimento betuminoso (Braga)

4.1.4 Trecho em Lajeado de Granito

A textura verificada neste trecho em lajeado de granito pode ser analisada com base nos valores apresentados na Figura 55.

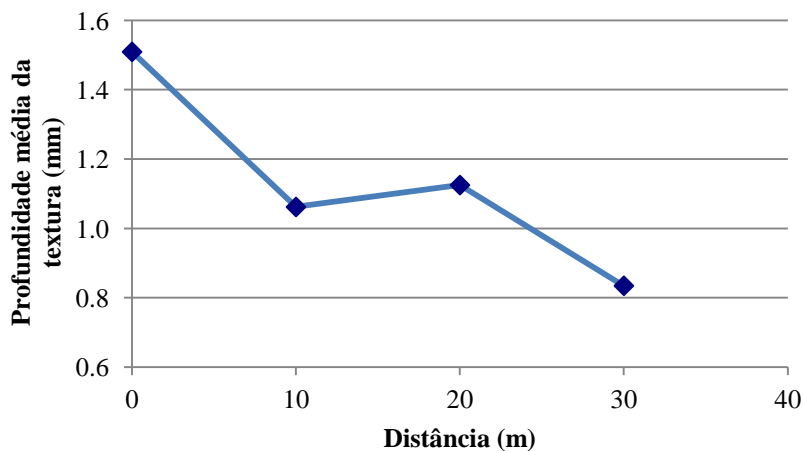


Figura 55 - Profundidade média da textura do trecho em Lajeado de Granito

Como a extensão neste trecho é menor que a dos restantes, apenas foram realizados quatro ensaios em distâncias de 10 em 10 metros, conforme se pode observar na Figura 56, para aferir sobre o comportamento da textura neste tipo de pavimento.



Figura 56 - Localização dos pontos de ensaio no trecho em Lajeado de Granito

Este trecho apresenta valores da textura muito heterogêneos, apresentando uma profundidade média da textura compreendida entre 0,8 e 1,5 mm. Tal disparidade nos valores era expectável, uma vez que o trecho é composto por elementos, em que várias componentes formam um todo, sendo os elementos lajes em granito, que ao contrário dos casos anteriores são de maiores dimensões, realizando-se o ensaio em apenas uma laje. Como cada laje tem a sua rugosidade, existindo umas mais rugosas e outras mais lisas (Figura 57 (a)), inclusive devido ao diferente uso que cada zona do passeio tem, a heterogeneidade dos resultados vai de encontro ao esperado após a análise visual realizada. Na Figura 57 (b) apresenta-se um pormenor da realização do ensaio neste trecho.



Figura 57 - a) Heterogeneidade na rugosidade das lajes de granito e b) Pormenor do ensaio de mancha de areia

4.1.5 Trecho em Blocos de Betão

Os resultados obtidos para o ensaio da mancha de areia no trecho em blocos de betão são apresentados na Figura 58.

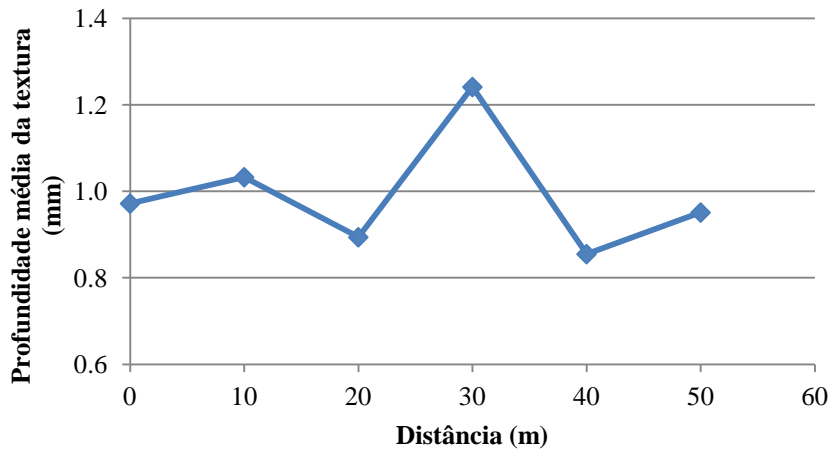


Figura 58 - Profundidade média da textura do trecho em Blocos de Betão

Este trecho serve quer peões quer veículos motorizados, tendo portanto uma utilização mista. Quanto à sua composição, este trecho é composto por vários elementos. A profundidade média da textura não é constante ao longo do trecho, variando entre os 0,8 e 1,2 mm. Os blocos de betão apresentavam no geral uma superfície lisa, excetuando algumas zonas onde o desgaste provocado pelas ações de tráfego provocou maior desgaste nos blocos, tornando a superfície destes mais rugosa (Figura 59 (a)). Esse desgaste explica o valor de profundidade máximo no trecho, que ocorre no ensaio realizado aos 30 metros, que coincide também com a existência de tampas de saneamento (Figura 59 (b)).



Figura 59 - a) Diferença na textura dos blocos de betão e b) Condições de pavimentação junto às tampas de saneamento

Finalmente, na Figura 60 pode-se observar os pontos onde foram realizados os vários ensaios neste trecho em blocos de betão.



Figura 60 - Localização dos pontos de ensaio no trecho em Blocos de Betão

4.1.6 Comparação dos Resultados dos Vários Trechos

Por forma a comparar a profundidade média da textura nos vários trechos, construídos com diferentes tipos de pavimentos, foi realizada a média dos valores medidos a cada 10 metros ao longo de cada trecho. Nessa média retiraram-se os pontos singulares de cada trecho para se perceber se estes influenciariam de maneira significativa esse valor. Porém, e após uma análise comparativa com a média obtida incluindo esses pontos singulares, constatou-se que a diferença era pouco relevante, optando-se por incluir estas singularidades na análise comparativa, sendo os resultados obtidos apresentados na Figura 61.

Verifica-se claramente que o trecho em lajeado de granito apresenta o maior valor da profundidade média da textura. Este tipo de soluções, bem como a solução de cubos de calcário e blocos de betão, são as mais adequadas para vias de utilização mista, uma vez que estes trechos possuem uma grande capacidade de drenar a água superficial, reduzindo o desconforto provocado aos utilizadores. Além disso, a elevada rugosidade influencia o aumento de ruído no pavimento, que produzirá uma diminuição das velocidades praticadas, o que resultará numa maior segurança para os peões que também partilham a via. Ao mesmo tempo, esta diminuição de velocidade reduzirá o ruído provocado no pavimento, limitando os efeitos negativos desta solução ao nível do ruído.

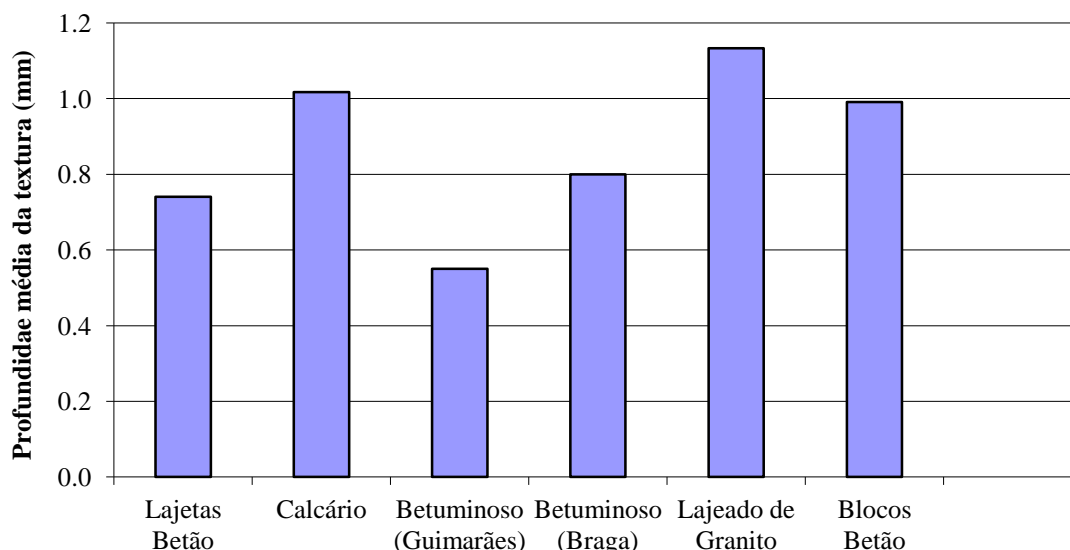


Figura 61 - Valor médio da profundidade média da textura obtida por trecho

Das três soluções atrás referidas destaca-se o lajeado granítico em comparação com as outras duas, uma vez que este trecho é composto por peças de maior dimensão, quando comparados com os outros dois, significando num menor número de juntas mas que estão mais afastadas entre si, o que pode resultar num maior desconforto para os peões.

Por último salienta-se a diferença significativa na textura entre os dois trechos betuminosos, embora sejam compostos pelo mesmo tipo de material. A falta de manutenção do trecho betuminoso em Braga resulta em valores superiores da profundidade média da textura.

4.2 Método do Pêndulo Britânico

4.2.1 Trecho em Lajetas Pré-Fabricadas de Betão

Este ensaio, tal como o da mancha de areia, foi realizado em seis pontos, espaçados 10 metros entre si. Com este número de ensaios procurou-se caracterizar todo o trecho, e aferir como se comporta em termos de atrito. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 62.

Pode-se constatar uma ligeira heterogeneidade nos resultados do ensaio do pêndulo britânico neste trecho em termos de resistência ao deslizamento, com valores de PTV compreendidos entre 57 e 66. Essa diferença de valores poderá estar relacionada com a forma como é composto o trecho em lajetas pré-fabricadas de betão, como já foi explicado anteriormente.

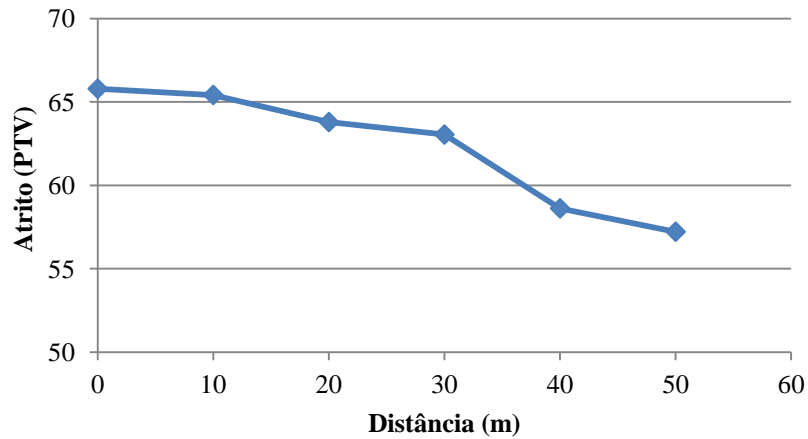


Figura 62 - Atrito no trecho em Lajetas Pré-Fabricadas de Betão

Denota-se uma ligeira descida nos valores de PTV nos pontos 4 e 5, embora não se tenha vislumbrado nenhum motivo aparente para esse facto.

Com base no Quadro 7 pode-se verificar que este tipo de solução apresenta excelentes resultados em termos de resistência ao deslizamento, apresentando um baixo risco de deslizamento, e conseqüentemente baixo risco de quedas por parte dos peões em todo o trecho. Na Figura 63 observa-se o ensaio do pêndulo britânico realizado neste trecho.



Figura 63 - Ensaio de Pêndulo Britânico

4.2.2 Trecho em Cubos de Calcário

Foram realizados seis ensaios espaçados 10 metros entre si, tal como indicado na descrição dos ensaios de mancha de areia. Os resultados obtidos nesses ensaios no pavimento de cubos de calcário são apresentados na Figura 64.

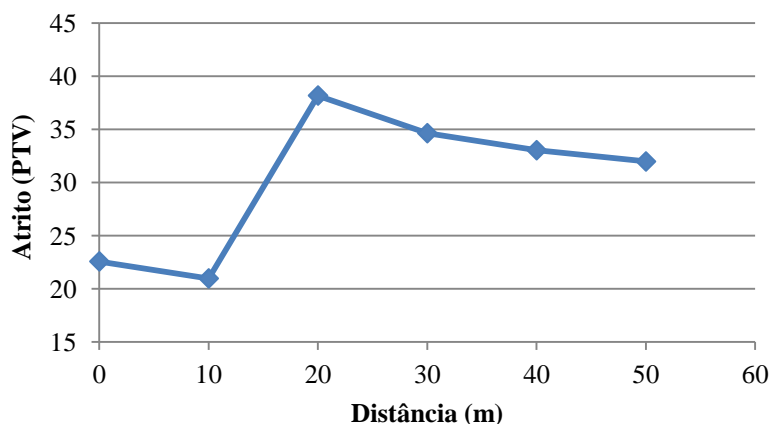


Figura 64 - Atrito no trecho em Cubos de Calcário

Verifica-se que existe heterogeneidade neste trecho, com valores de PTV compreendidos entre 20 e 39 em toda a sua extensão. Os pontos de ensaio 1 e 2, que se encontram no início e a 10 metros de distância respetivamente, apresentam valores de PTV muito baixos. Nestes dois pontos, e em comparação com os valores de referência do Quadro 7, constata-se que o trecho apresenta um risco elevado de escorregamento por parte dos peões. O restante trecho apresenta um moderado risco de escorregamento.

Da análise visual efetuada ao trecho poder-se-á explicar a diferença dos resultados no primeiro ponto pela proximidade a uma explanada de um estabelecimento comercial (Figura 65), que poderá ter contribuído para o maior desgaste destes cubos. No ponto de ensaio 2 também se verificou que os cubos estavam mais lisos, aparentemente devido a um maior polimento superficial, sem uma causa atual evidente para esse facto.

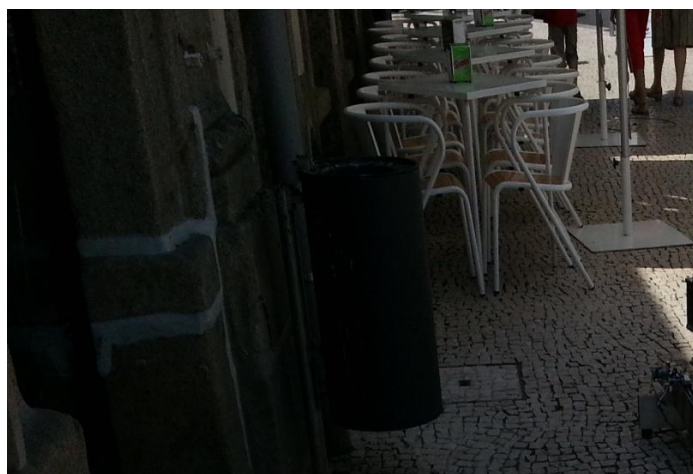


Figura 65 - Proximidade do primeiro ponto de ensaio a uma explanada de um estabelecimento comercial

4.2.3 Trecho em Betuminoso

No trecho betuminoso em Guimarães foram realizados ensaios de pêndulo britânico em seis pontos, tal como no ensaio da mancha de areia, cujos resultados se apresentam na Figura 66.

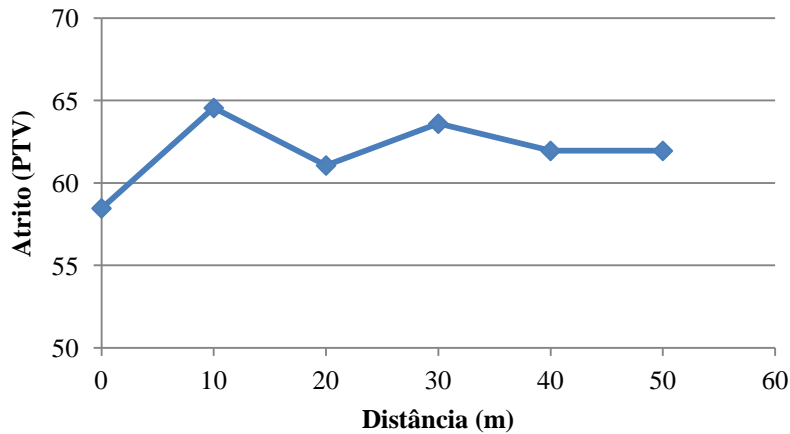


Figura 66 - Atrito no trecho em Betuminoso (Guimarães)

Os resultados deste ensaio mostram um trecho relativamente homogêneo, com valores de PTV compreendidos entre 58 e 64, o que se justifica pela inexistência de juntas nesta solução e pela homogeneidade do seu acabamento. Na comparação destes valores com os do Quadro 7 verifica-se que se trata de um trecho com baixo risco de escorregamento por parte dos peões.

Este trecho encontrava-se numa zona habitacional, e da análise visual efetuada constatou-se que os pontos 1 e 3 (0 e 20 metros respetivamente) eram zonas de acesso a garagens (Figura 67), o que poderá contribuir para valores ligeiramente inferiores de PTV.



Figura 67 - Início do trecho e pormenor do acesso a garagem

Os resultados obtidos neste ensaio, mas agora no trecho em betuminoso de Braga, para os seis pontos singulares já referidos no ensaio de “mancha de areia”, são apresentados na Figura 68.

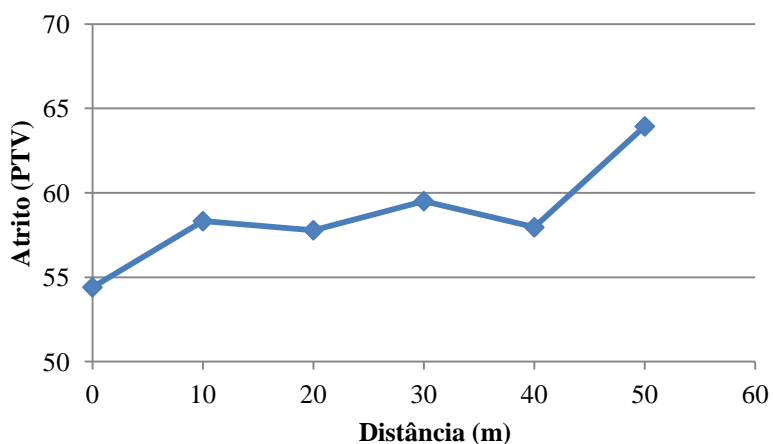


Figura 68 - Atrito no trecho em Betuminoso (Braga)

Neste trecho não se verifica uma grande variação nos valores de PTV, que ficaram compreendidos entre 55 e 64, à exceção dos pontos de ensaio 1 e 5. Estes resultados não vão de encontro ao esperado aquando a análise visual realizada, na medida em que este trecho apresenta um elevado grau de degradação, pelo que seria de esperar maior disparidade nos resultados de PTV. Porém, o facto de se ter realizado a maioria dos ensaios em pontos que se encontravam com menor degradação (para viabilizar a realização do ensaio) poderá ter levado a estes resultados

Pela comparação destes resultados com as referências do Quadro 7, verifica-se tratar-se de um trecho com baixa probabilidade de escorregamento por parte dos peões que o usam, à semelhança do que acontece com o trecho betuminoso em Guimarães, o que demonstra que a solução em betuminoso dá garantias adequadas de atrito para os peões.

4.2.4 Trecho em Lajeado de Granito

Os quatro pontos onde foram realizados os ensaios neste trecho em lajeado de granito, à semelhança dos anteriores, foram definidos por forma a aferir o valor do atrito ao longo deste trecho mais curto, a cada 10 metros. Os resultados de atrito obtidos no lajeado de granito são apresentados na Figura 69.

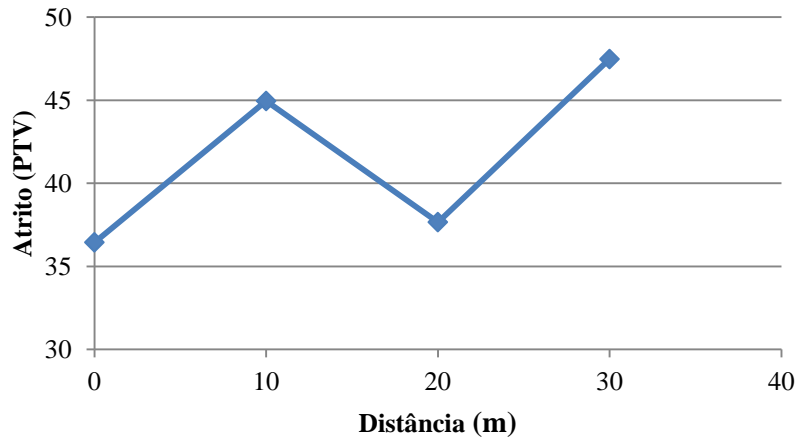


Figura 69 - Atrito no trecho em Lajeado de Granito

Pela análise dos resultados obtidos neste trecho verifica-se alguma heterogeneidade dos valores de PTV, que estão compreendidos entre 37 e 48. A explicação para esta heterogeneidade deve-se ao material que constitui as lajes também ser heterogêneo (Figura 70 (a)), e daí a diferença nos valores de PTV. Na Figura 70 (b) observa-se ainda a realização do ensaio de pêndulo britânico neste tipo de pavimento. Comparando-se os resultados com os valores de referência indicados no Quadro 7 verifica-se que se trata de um trecho que oferece segurança aos peões, pois apresenta um baixo risco de escorregamento.



Figura 70 - a) Heterogeneidade das lajes que constituem o trecho e b) ensaio do pêndulo britânico

4.2.5 Trecho em Blocos de Betão

Os resultados obtidos nos ensaios com o pêndulo britânico no trecho em blocos de betão são apresentados na Figura 71.

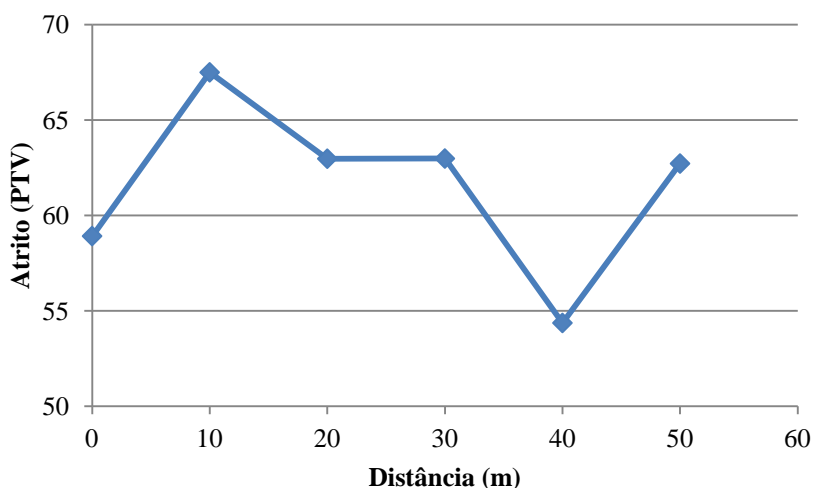


Figura 71 - Atrito no trecho em Blocos de Betão

O trecho apresenta um comportamento homogêneo com exceção do ponto 2, que apresenta um aumento no atrito, e no ponto 5, que apresenta uma diminuição, quando comparados com os restantes pontos. Os valores de PTV neste trecho estão compreendidos entre os 59 e os 68, sendo que comparados com os valores de referência do Quadro 7 se pode verificar tratar-se de um trecho que em termos de atrito oferece segurança aos peões que o usam, apresentando baixo risco de escorregamento.

Pela análise visual verifica-se que o trecho apresenta zonas em mau estado de conservação (Figura 59 (a)) e possui tampas de saneamento e caixas de escoamento de águas pluviais (Figura 59 (b)) que provocaram um diferente padrão de assentamento dos blocos nessas zonas, o que pode ajudar a explicar a diferença do atrito nos pontos 2 e 5. No entanto, não se verificou uma alteração no valor de PTV no ponto 3, e sendo este um ponto onde também se existem tampas de saneamento verifica-se que não ocorre necessariamente uma mudança no valor de atrito devido à existência de singularidades.

4.2.6 Comparação dos Resultados

Por forma a se perceber o comportamento relativo dos diferentes trechos relativamente ao atrito, para aferir qual deles possui melhor comportamento, procedeu-se a uma análise comparativa entre eles, calculando-se a média obtida com os ensaios sem os valores resultantes das singularidades (que neste caso afetavam a média e tornavam a análise comparativa menos precisa). Essa análise comparativa é apresentada na Figura 72.

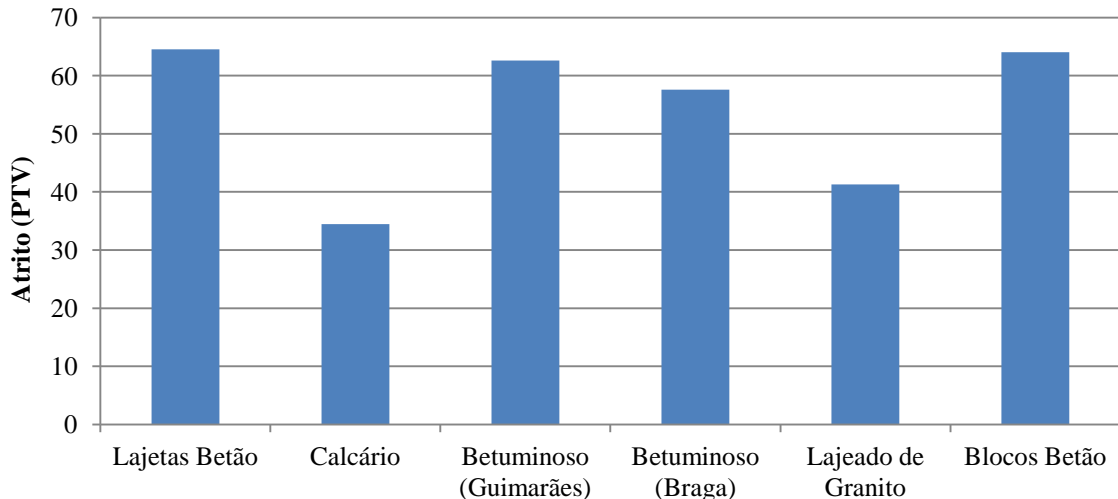


Figura 72 - Média dos valores de PTV do atrito para os vários trechos em estudo

Com base nos resultados obtidos pode-se constatar que os trechos em lajetas pré-fabricadas de betão, betuminoso e blocos de betão são os mais seguros para os peões. Estes trechos apresentam um nível de PTV de aproximadamente 60, sendo que pelo recurso ao Quadro 7 se verifica que a partir de um valor de 36 já se está na presença de uma superfície que oferece um baixo risco de escorregamento.

As soluções em lajeado de granito e cubos de calcário são as que apresentam uma menor resistência ao deslizamento, embora o trecho em lajeado de granito apresente um nível de PTV superior a 36, logo com baixa probabilidade de provocar a queda dos peões que o usam por escorregamento, sendo também uma solução eficaz nesse aspeto, embora menor do que as anteriormente citadas.

Uma solução a evitar, ou pelo menos que deverá ser bastante estudada antes da sua implementação, são os passeios em cubos de calcário, uma vez que pelos resultados obtidos com a análise do ensaio do pêndulo britânico se verificou que este apresenta um valor médio de PTV de 30. Por comparação deste valor com os indicados como referência no Quadro 7 constata-se que este trecho origina algum risco para os peões, principalmente em dias que devido a precipitação ou outros fatores o piso se encontre molhado, havendo o risco dos peões escorregarem. Dado que este tipo de passeios é utilizado em soluções de elevado valor estético e patrimonial, nomeadamente na calçada portuguesa, esta solução não deve ser abandonada, mas deve ser adaptada a locais com menor desgaste de circulação.

4.3 Avaliação da Irregularidade com Régua de 3 Metros Instrumentada

Tal como referido anteriormente, e por forma a avaliar a irregularidade dos diversos trechos, foram realizados dois tipos de medições distintas. Numa primeira fase mediu-se a irregularidade do perfil longitudinal, e posteriormente fez-se o mesmo para o perfil transversal (em zonas pontuais). Esses resultados serão apresentados em seguida para cada trecho.

4.3.1 Trecho em Lajetas Pré-Fabricadas de Betão

Irregularidade do perfil longitudinal

Com o ensaio realizado com a régua de 3 metros obtiveram-se os valores de irregularidade longitudinal ($IRPL_L$) do trecho em lajetas pré-fabricadas de betão apresentados na Figura 73.

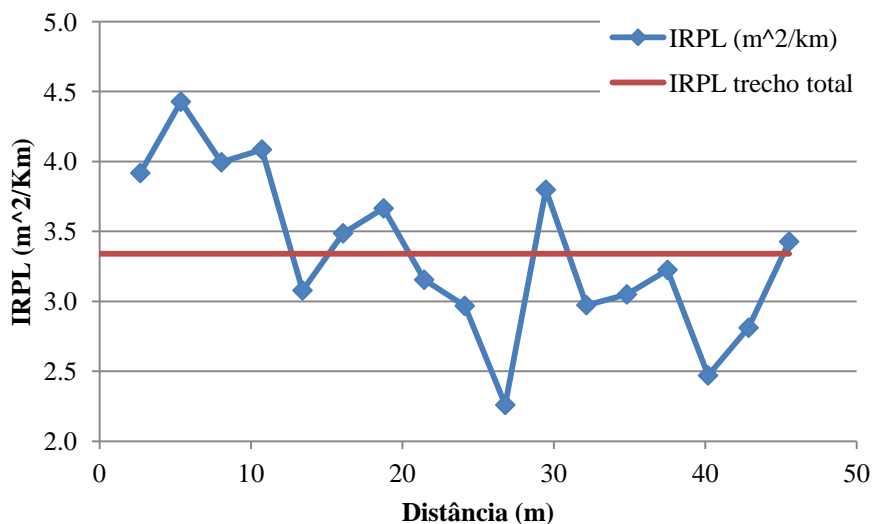


Figura 73 - Valores de $IRPL_L$ ao longo do trecho em lajetas pré-fabricadas de betão

Os valores de $IRPL_L$ foram determinados para comprimentos de 3 metros consecutivos, até perfazerem todo o comprimento do trecho em questão. Resultando nos 16 intervalos de valores de irregularidade sucessivos que foram apresentados na Figura 73. Calculou-se de seguida o valor da irregularidade de todo o trecho ($IRPL_L$ trecho total), considerando-se nesse caso o valor integrado para o comprimento total do trecho.

O trecho apresenta uma irregularidade de aproximadamente $3,4 \text{ m}^2/\text{km}$, existindo porém grande variação da irregularidade ao longo da extensão do trecho. Esse facto poderá estar

relacionado com o tipo de revestimento superficial do trecho, dado tratar-se de um passeio em lajetas pré-fabricadas de betão que devido ao modo de ligação entre elas não apresenta uma irregularidade constante.

Destaca-se ainda a irregularidade nos primeiros 10 metros, com valores de IRP_L superiores aos determinados para o trecho total, o que se pode dever à presença de tampas na zona de ensaio (Figura 74).



Figura 74 - Ensaio realizado numa zona com tampa

Os valores obtidos de IRP_{L50} (medidos em trechos de 50 cm) traduzem a diferença de irregularidades encontradas pelos peões à medida que caminham no trecho. Os valores de IRP_{L50} para este trecho são apresentados na Figura 75.

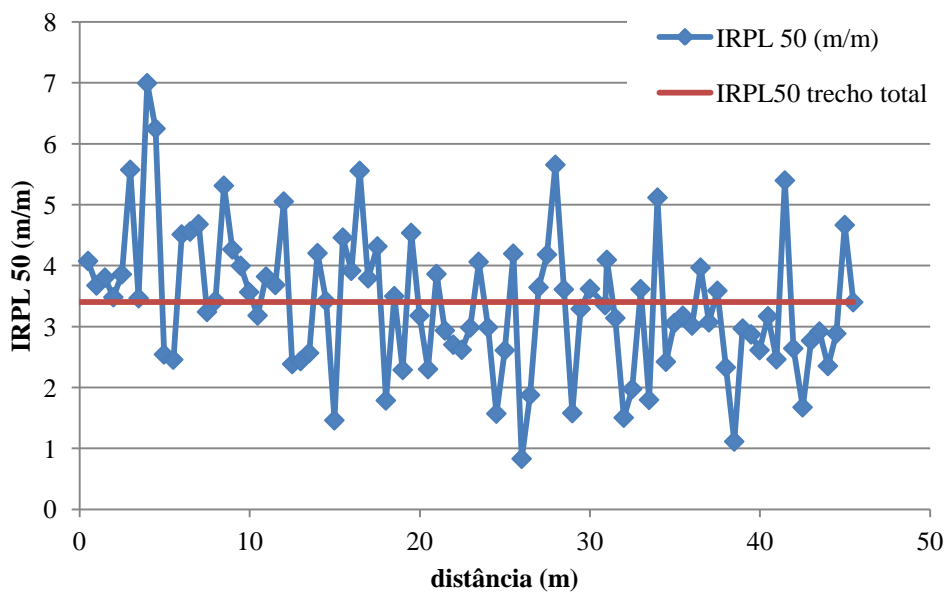


Figura 75 - Valores de IRP_{L50} ao longo do trecho em lajetas pré-fabricadas de betão

Ao analisar os resultados obtidos verifica-se mais uma vez a diferença de irregularidades ao longo do trecho. Para o trecho global obteve-se um IRP_{L50} de aproximadamente 3,5 m/m, voltando a verificar-se maior valor de irregularidade nos primeiros 5 metros.

Irregularidade do perfil transversal

Os resultados obtidos e apresentados na Figura 76 resultaram de ensaios realizados transversalmente ao longo do trecho em quatro pontos distintos. As distâncias entre eles foram variáveis devido à existência de zonas de comércio no trecho, que por obstrução do passeio não permitiram ter a largura mínima (3 metros) no passeio para a realizar o ensaio.

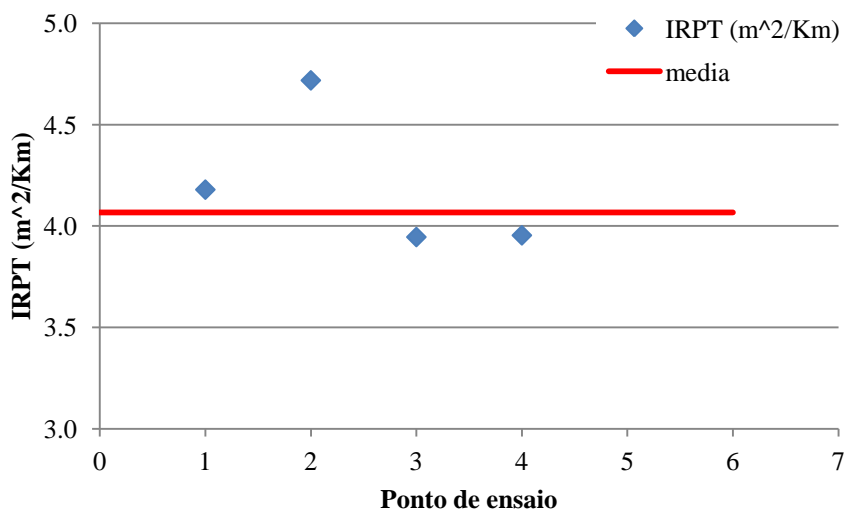


Figura 76 - Valores de IRP_T do trecho em lajetas pré-fabricadas de betão no perfil transversal

Pode-se observar alguma constância nos resultados obtidos, resultando num trecho com uma irregularidade transversal (IRP_T) média de aproximadamente de 4,1 m²/km, à exceção do ponto de ensaio 2. Tal como explicado anteriormente, a diferença poderá estar relacionada com o tipo de revestimento superficial do trecho. Verifica-se ainda que a irregularidade transversal é, em média, superior à irregularidade longitudinal neste trecho.

4.3.2 Trecho em Cubos de Calcário

Irregularidade do perfil longitudinal

A irregularidade longitudinal verificada neste trecho em cubos de calcário pode ser observada pelos valores de IRP_L apresentados na Figura 77.

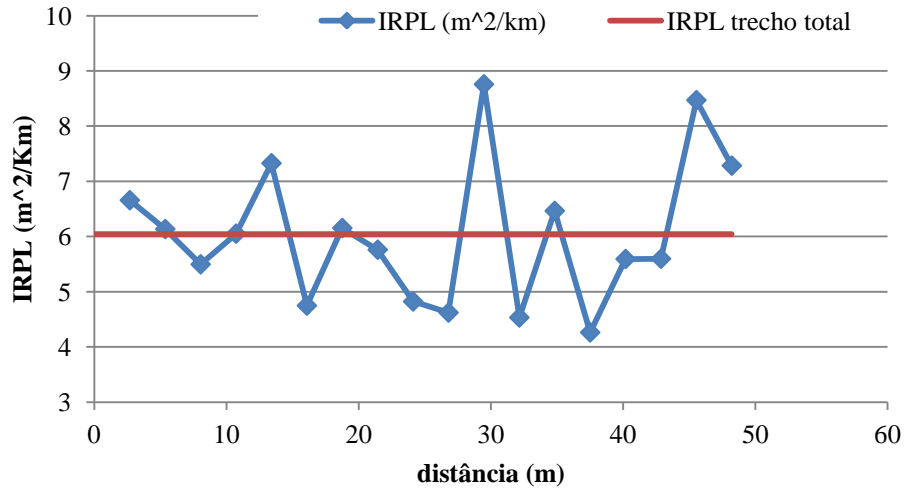


Figura 77 - Valores de IRP_L ao longo do trecho em cubos de calcário

Como se pode observar, os valores ilustram bem o comportamento irregular dos cubos de calcário que constituem a superfície do pavimento. Os “picos” presentes no gráfico são explicados por singularidades encontradas. O pico observado aos 30 metros resulta de diferenças de inclinação no passeio, tal como pode ser observado na Figura 78.



Figura 78 - Diferença de inclinação no trecho em cubos de calcário

Entre os 40 e 45 metros verifica-se outro “pico” no gráfico, e este está relacionado uma vez mais com a diferença de inclinações e existência dum dispositivo de escoamento de águas pluviais (Figura 79).

Em seguida apresentam-se os valores de IRP_{L50} para este trecho na Figura 80, avaliando a irregularidade com mais pormenor por trechos de 50 cm.



Figura 79 - Diferença nas inclinações e existência de dispositivos de escoamento

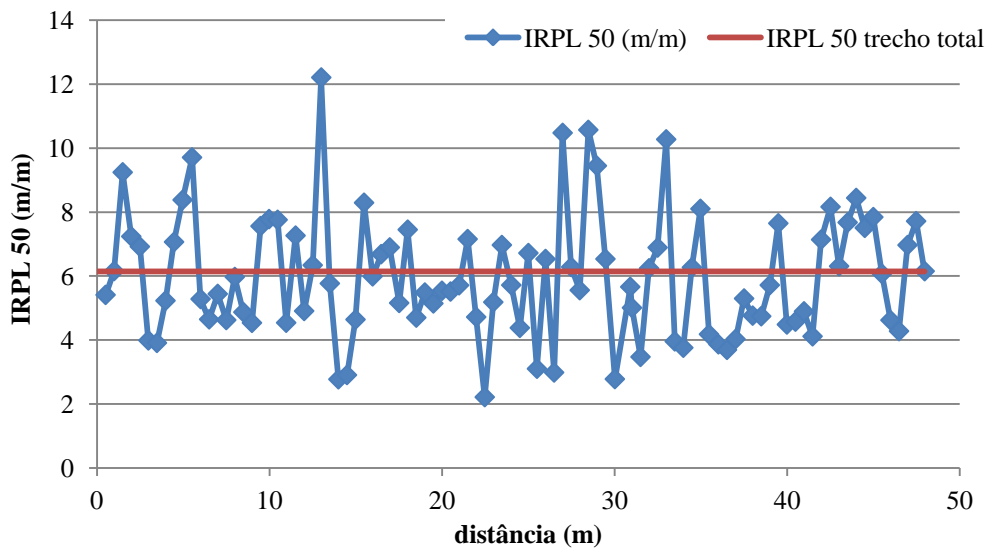


Figura 80 - Valores de IRP_{L50} ao longo do trecho em cubos de calcário

Com a determinação deste índice, observa-se um “pico” no gráfico da irregularidade por volta dos 13 metros. Este “pico” não era visível na análise do IRP_L , o que é explicado pelas menores distâncias usadas no cálculo de IRP_{L50} , que se assemelham ao passo de um peão. Assim, é possível perceber as irregularidades sentidas por este enquanto caminha e que podiam ficar camufladas com no valor IRP_L anterior. Contudo, pela análise visual efetuada no local não se consegue explicar esse “pico” aos 13 metros, atribuindo-se este valor a alguma instabilidade pontual que terá ocorrido no equipamento. Assim, de futuro deverá aplicar-se um filtro aos resultados deste equipamento evitar estes pontos. Apesar destes pontos não influenciarem os resultados globais e a avaliação comparativa que se está a realizar, desejavelmente estes pontos devem ser minimizados. Verificou-se que o trecho apresenta um IRP_{L50} de aproximadamente 6 m/m, semelhante ao obtido na análise de espectro mais largo.

Irregularidade do perfil transversal

Os resultados obtidos, representados na Figura 81, resultaram do ensaio transversal em seis pontos ao longo do trecho em cubos de calcário, distanciados 10 metros entre si.

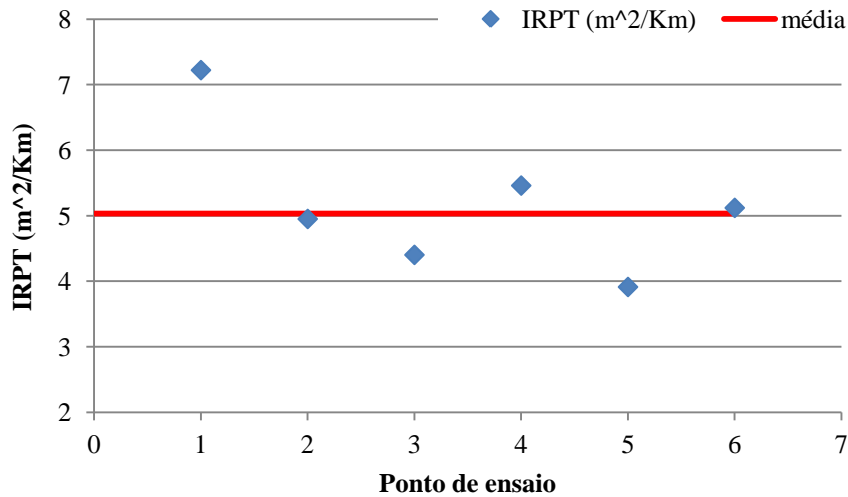


Figura 81 - Valores de IRP_T do trecho em cubos de calcário no perfil transversal

O valor médio da irregularidade transversal é cerca de $5 \text{ m}^2/\text{km}$, sendo este valor inferior à irregularidade longitudinal para este trecho (ao contrário do que aconteceu no trecho anterior). Estas variações entre trechos não devem ser associadas apenas ao tipo de pavimento utilizado, mas várias características de cada trecho (degradação, singularidades, fundação, entre outros).

Observa-se uma maior irregularidade no primeiro ponto de ensaio, que se relaciona com a diferença de inclinações transversais para escoamento de águas pluviais (Figura 82), apresentado o restante trecho valores homogéneos em termos de irregularidade transversal.



Figura 82 - Diferença das inclinações transversais no ponto de ensaio 1

4.3.3 Trecho em Betuminoso

Irregularidade do perfil longitudinal (trecho em Guimarães)

Com os dados do ensaio da régua de 3 metros obtiveram-se os valores de IRP_L apresentados na Figura 83 para a irregularidade longitudinal do trecho de betuminoso em Guimarães.

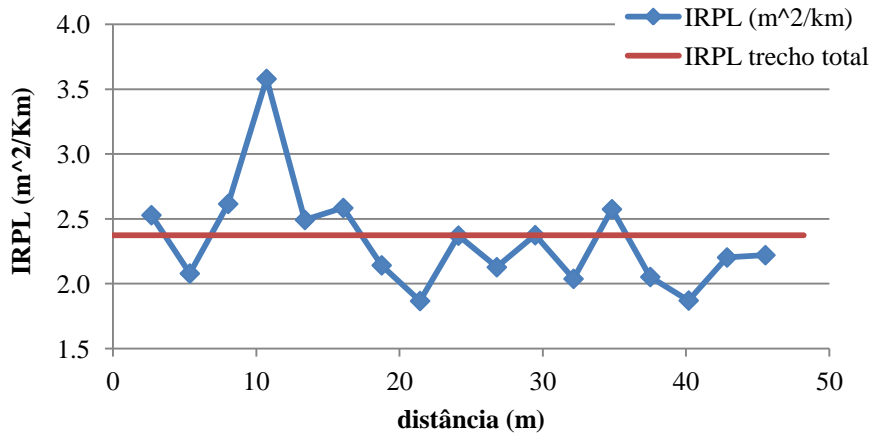


Figura 83 - Valores de IRP_L ao longo do trecho em betuminoso (Guimarães)

Neste trecho não se verificava visualmente grande irregularidade longitudinal, à exceção dos primeiros 10 metros devido à existência de entradas para acesso a habitações e a um desnível para acesso a passadeira para peões, o que explica os resultados obtidos. Isso resultou num trecho com um menor valor de IRP_L de $2,4 \text{ m}^2/\text{km}$.

Em seguida determinaram-se os valores de IRP_{L50} (Figura 84) por troços de 50 cm.

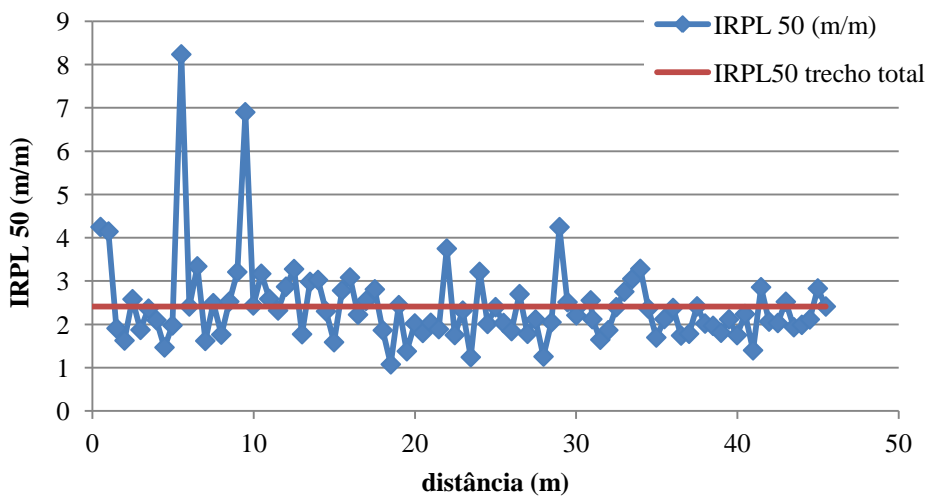


Figura 84 - Valores de IRP_{L50} ao longo do trecho em Betuminoso (Guimarães)

Nota-se alguma homogeneidade nos resultados obtidos ao longo de toda a extensão do trecho, com exceção de alguns “picos” que se fazem notar em especial nos primeiros 10 metros, e cujos motivos já foram anteriormente explicados. O valor de IRP_{L50} foi cerca de 2,5 m/m.

Irregularidade do perfil transversal (trecho em Guimarães)

Para este trecho de betuminoso em Guimarães foram realizados seis ensaios de irregularidade transversal espaçados entre si 10 metros. Os resultados são apresentados na Figura 85.

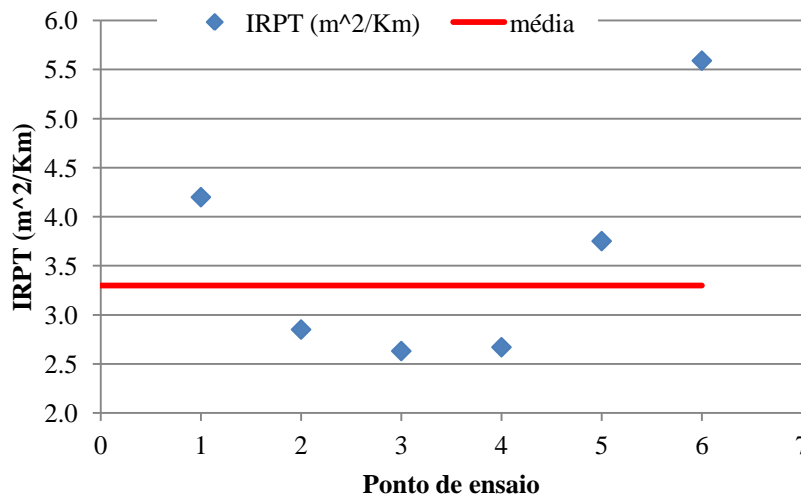


Figura 85 - Valores de IRP_T no trecho em betuminoso (Guimarães) a nível transversal

Verifica-se que os pontos 5 e 6, que se encontram nos primeiros 10 metros do trecho, são aqueles que apresentam uma maior variação de IRP_T . O mesmo sucede com o ponto de ensaio 1, que se encontrava numa zona de desnível de terreno, devido à existência de uma passadeira no local. Este trecho apresenta em média um valor de IRP_T de 3,4 m²/km, voltando a verificar-se para este trecho uma irregularidade transversal superior à longitudinal.

Irregularidade do perfil longitudinal (trecho em Braga)

Depois de avaliado o trecho de betuminoso em Guimarães, em seguida procedeu-se ao mesmo tipo de análise no trecho de betuminoso em Braga (que apresentava maior degradação). Com o ensaio da régua a nível longitudinal obtiveram-se os resultados apresentados na Figura 86.

De facto, neste trecho era visível o mau estado de conservação, sendo por isso expectável a heterogeneidade verificada na irregularidade, tal como se pode observar, bem como a maior irregularidade longitudinal medida neste segundo trecho betuminoso (IRP_L de 4,5 m²/km).

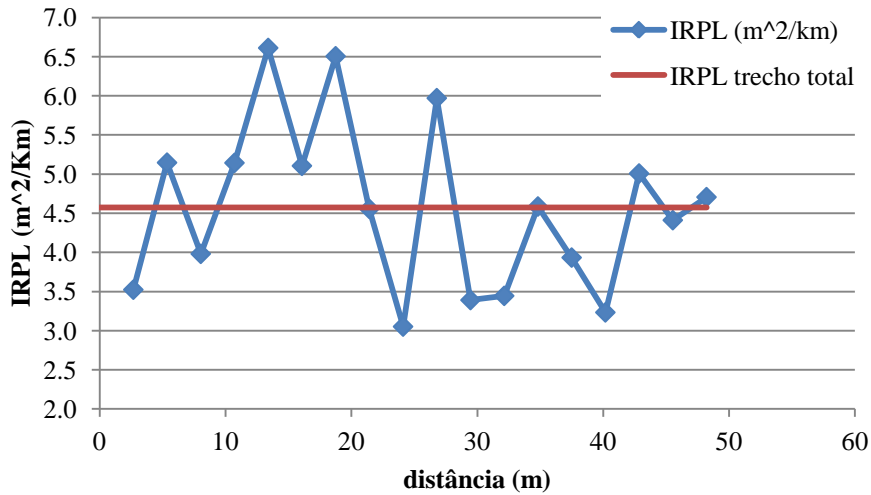


Figura 86 - Valores de IRP_L ao longo do trecho em betuminoso (Braga)

Verifica-se a existência de “picos” no gráfico com os valores da irregularidade, em especial entre os 10 e os 30 metros, que estão relacionados com zonas de deformações (Figura 87) e com a existência de tampas de águas pluviais.



Figura 87 - Zona irregular devido a deformações no trecho

Em seguida determinou-se os valores de IRP_{L50} por trechos de 50 cm, que podem ser observados na Figura 88. Obteve-se um valor de IRP_{L50} deste trecho de aproximadamente 4,8 m/m, como resultado de alguns “picos” devido à presença de singularidades (como tampas de escoamento de águas pluviais e degradação do trecho). O “pico” que se observa por volta dos 5 metros não apresenta, pela observação visual realizada, um motivo especial que o justifique, estando em princípio associado a alguma falha pontual de leitura do equipamento.

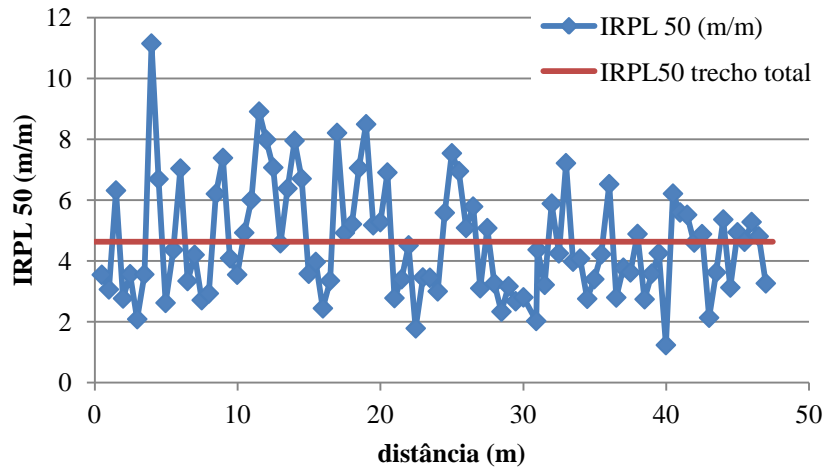


Figura 88 - Valores de IRP_{L50} ao longo do trecho em betuminoso (Braga)

Irregularidade do perfil transversal (trecho em Braga)

Os resultados obtidos ao avaliar a irregularidade transversal deste segundo trecho em betuminoso podem ser observados na Figura 89.

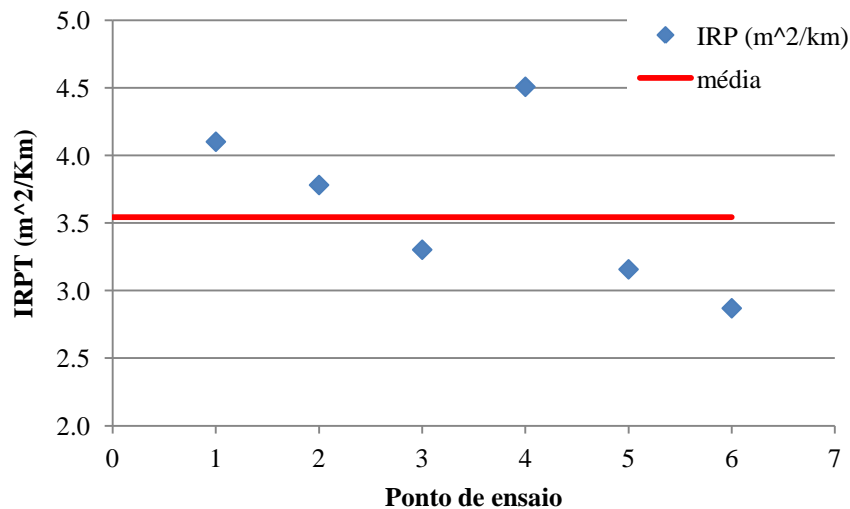


Figura 89 - Valores de IRP_T do trecho em betuminoso (Braga) a nível transversal

Com base na análise visual realizada e nos resultados obtidos verifica-se a diferença de valores na irregularidade transversal no trecho. O ponto de ensaio 4 possui o maior valor de irregularidade transversal, sendo esta resultante de uma zona de elevada degradação no trecho (Figura 90). No entanto, este trecho apresenta em média um valor de IRP_T de $3,6 \text{ m}^2/\text{km}$, pelo que este trecho tem uma irregularidade transversal claramente inferior à longitudinal (o que poderá ter resultados dos pontos singulares utilizados na caracterização transversal).



Figura 90 - Zona irregular a nível transversal devido a degradação no trecho

4.3.4 Trecho em Lajeado de Granito

Irregularidade do perfil longitudinal

Em seguida, os dados da régua de 3 metros permitiram obter os valores de IRP_L apresentados na Figura 91 para a irregularidade longitudinal do trecho em lajeado de granito.

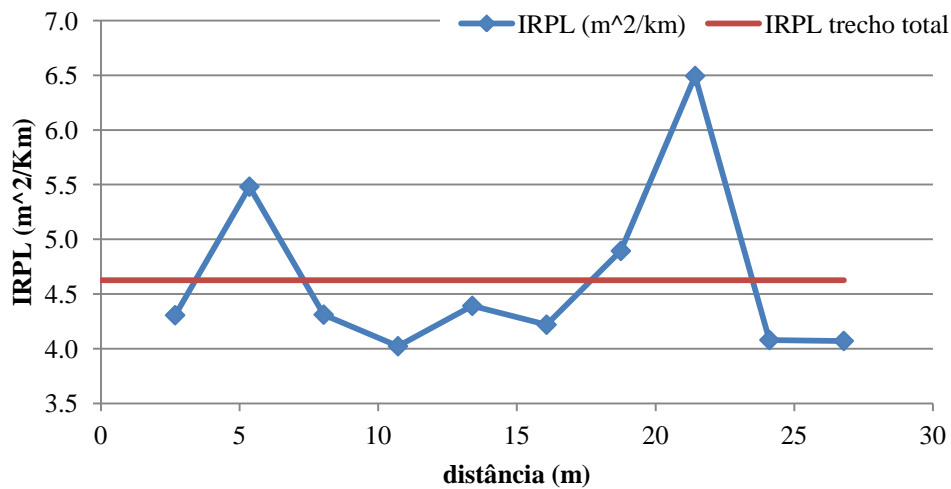


Figura 91 - Valores de IRP_L ao longo do trecho em lajeado de granito

Devido à composição da superfície do pavimento (Figura 70 (a)) era expectável existirem diferenças nos valores de irregularidade ao longo do trecho, o que se verificou com a análise dos dados recolhidos. De facto, alguma junta mais saliente do lajeado poderá justificar o “pico” encontrado aos 20 metros, uma vez que pela análise visual não se encontra outra explicação aparente. O trecho apresenta um valor de IRP_L relativamente alto, de aproximadamente $4,6 \text{ m}^2/\text{km}$, o que também resulta da composição deste pavimento.

Os valores de IRP_{L50} , determinados com mais pormenor por comprimentos base de 50 cm, podem ser observados na Figura 92.

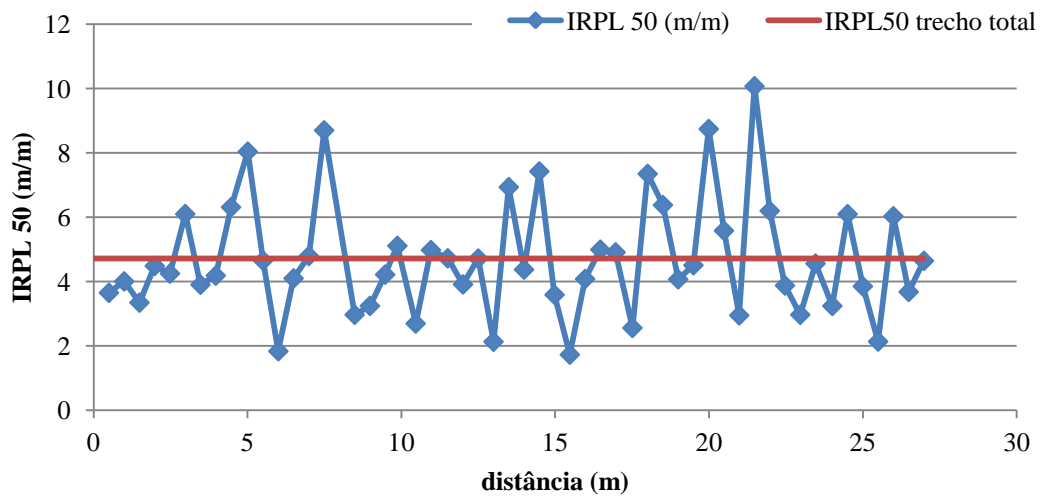


Figura 92 - Valores de IRP_{L50} ao longo do trecho em lajeado de granito

Mais uma vez observa-se a heterogeneidade do trecho em termos de irregularidade longitudinal, o que se traduz na variação dos valores de IRP_{L50} obtidos. Os “picos” existentes, principalmente entre os 5 e os 10 metros, e entre os 20 e 25 metros, devem-se principalmente à constituição da superfície do pavimento, uma vez que no trecho não existem degradações visíveis ou tampas que poderiam provocar a alteração nos valores medidos.

Irregularidade do perfil transversal

Os resultados obtidos na medição da irregularidade transversal neste trecho, apenas em três pontos, podem ser observados na Figura 93.

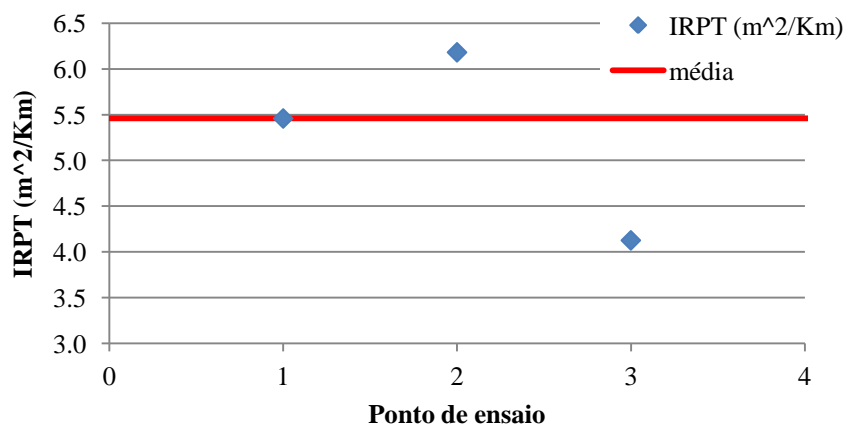


Figura 93 - Valores de IRP_T no trecho em lajeado de granito a nível transversal

Tal como aconteceu a nível longitudinal, há uma grande variação nos valores de irregularidade transversal, obtendo-se uma média do índice de regularidade transversal de $5,5 \text{ m}^2/\text{km}$. Estes resultados também são consistentes com os apresentados longitudinalmente.

4.3.5 Trecho em Blocos de Betão

Irregularidade do perfil longitudinal

Finalmente, o ensaio da régua de 3 metros foi utilizado no trecho de blocos em betão para obter os resultados da irregularidade longitudinal apresentados na Figura 94.

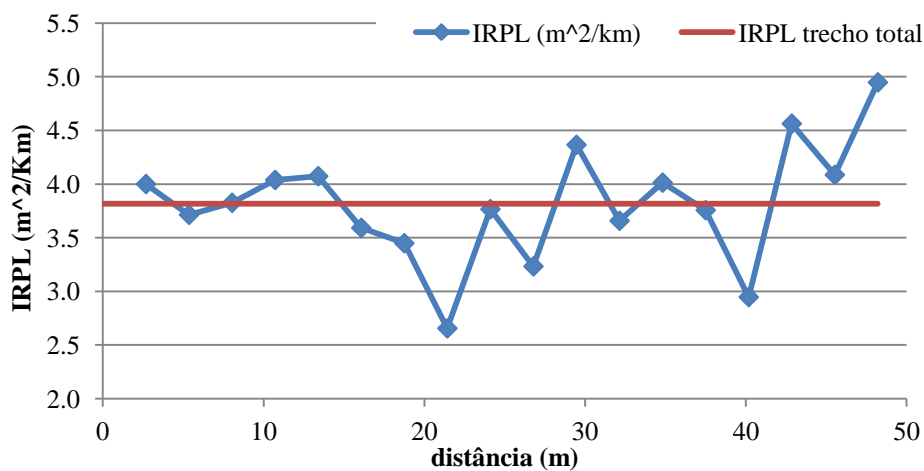


Figura 94 - Valores de IRP_L ao longo do trecho em blocos de betão

Constata-se que entre os 20 e os 25 metros existe um “pico invertido” no valor de IRP_L , que resulta de uma zona com menor irregularidade. Entre os 45 e os 50 metros encontravam-se algumas tampas de águas pluviais (Figura 95), o que resultou no aumento da irregularidade e, por consequência, dos valores de IRP_L .



Figura 95 - Zona irregular devido a uma tampa de águas pluviais

Em seguida determinou-se os valores de IRP_{L50} deste trecho para um comprimento base de 50 cm (Figura 96), para estimar a irregularidade sentida pelos peões ao caminhar.

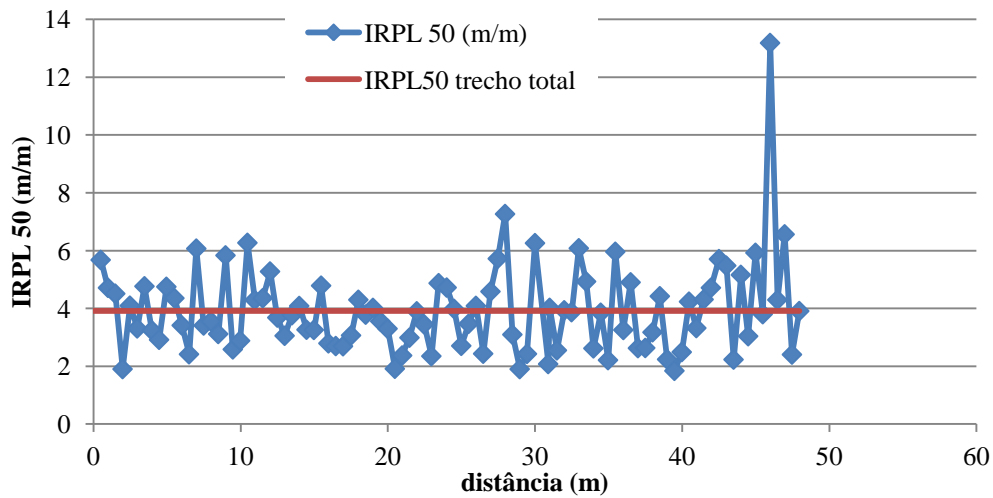


Figura 96 - Valores de IRP_{L50} ao longo do trecho em blocos de betão

Verifica-se que o trecho possui um IRP_{L50} de 4 m/m e que possui um “pico” por volta dos 48 metros que se destaca por corresponder ao maior valor de IRP_{L50} . Este “pico” pode dever-se à existência de tampas de escoamento de águas pluviais, mas esse não parece ser o motivo para uma diferença tão significativa quando comparado com os restantes. Pela análise visual efetuada não se vislumbram explicações plausíveis para esse facto, devendo este estar relacionado mais algum erro pontual na medição com o equipamento, e que deve ser filtrado.

Irregularidade do perfil transversal

Os resultados da irregularidade transversal neste trecho podem ser observados na Figura 97.

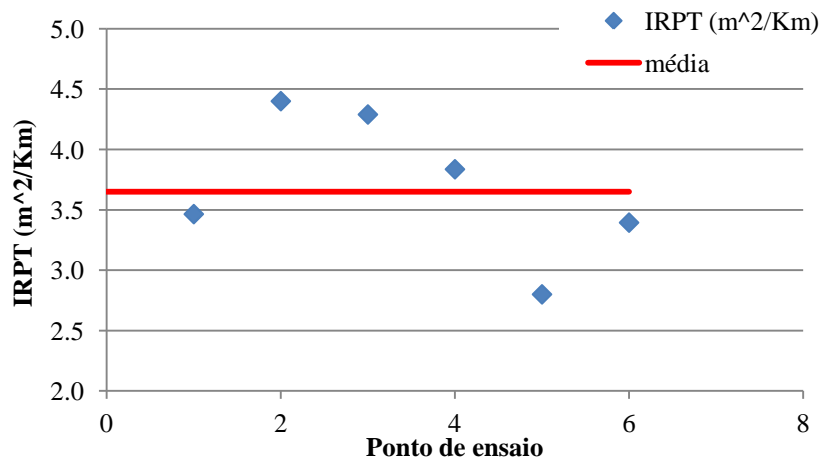


Figura 97 - Valores de IRP_T do trecho em blocos de betão a nível transversal

Devido à estrutura da superfície do pavimento não era expectável um trecho constante em termos de regularidade. O mesmo é comprovado pelos resultados obtidos que demonstram ser um trecho irregular, com valores de IRP_T superiores em especial nos pontos de ensaio 2 e 3. Estes correspondem a zonas de maior degradação do trecho e de presença de tampas de águas pluviais, tal como se pode verificar na Figura 98. A média do índice de regularidade transversal foi $3,7 \text{ m}^2/\text{km}$, sendo consistente com os valores obtidos longitudinalmente.



Figura 98 - Zonas irregulares devido a degradação e presença de tampas de águas pluviais

4.3.6 Comparação dos Resultados de Irregularidade

Por forma a compreender mais claramente qual o trecho em análise que oferece maior segurança e conforto em termos de regularidade longitudinal e transversal, apresenta-se de seguida uma análise comparativa para os trechos estudados. Esta análise é válida no âmbito deste trabalho, não se podendo inferir que outros trechos feitos nos mesmos materiais tenham resultados semelhantes (em especial nesta propriedade influenciada por diversas variáveis).

Irregularidade do perfil longitudinal

Na Figura 99 apresenta-se uma análise comparativa em termos de irregularidade longitudinal para os diferentes tipos de trecho estudados neste trabalho.

Pela análise dos dados, verifica-se que o trecho em calcário apresenta maior irregularidade longitudinal, ao contrário do que sucede com o trecho em betuminoso (Guimarães) que, tal como o previsto, oferece uma superfície de pavimento mais regular. A irregularidade no trecho em cubos de calcário deve-se principalmente ao desnível do passeio para escoamento de águas pluviais bem como ao fato de ser um passeio composto por várias peças ou componentes que formam um todo.

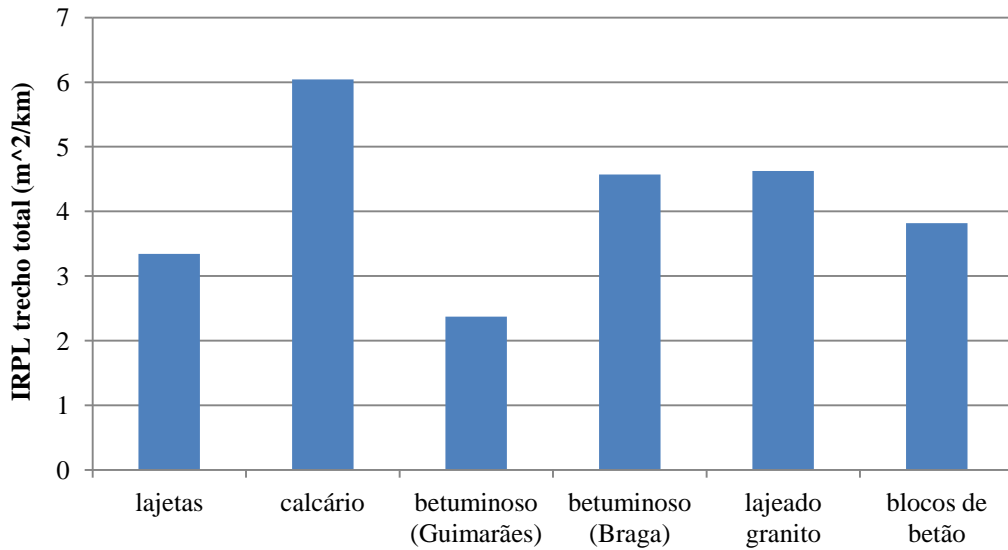


Figura 99 - Análise comparativa dos valores médios de IRP_L dos vários trechos

Salienta-se ainda que o segundo trecho em Betuminoso (Braga), que deveria oferecer uma superfície de circulação pedonal bastante regular, devido ao seu mau estado de conservação apresenta-se como um dos trechos com maior valor de IRP_L.

Por forma a se avaliar a irregularidade longitudinal quando se estuda para distâncias semelhantes ao passo humano (sendo por isso um indicador que poderá ser mais fidedigno em termos de resultados), também se realizou-se uma análise comparativa para os trechos em estudo em termos de IRP_{L50}, que pode ser observada na Figura 100.

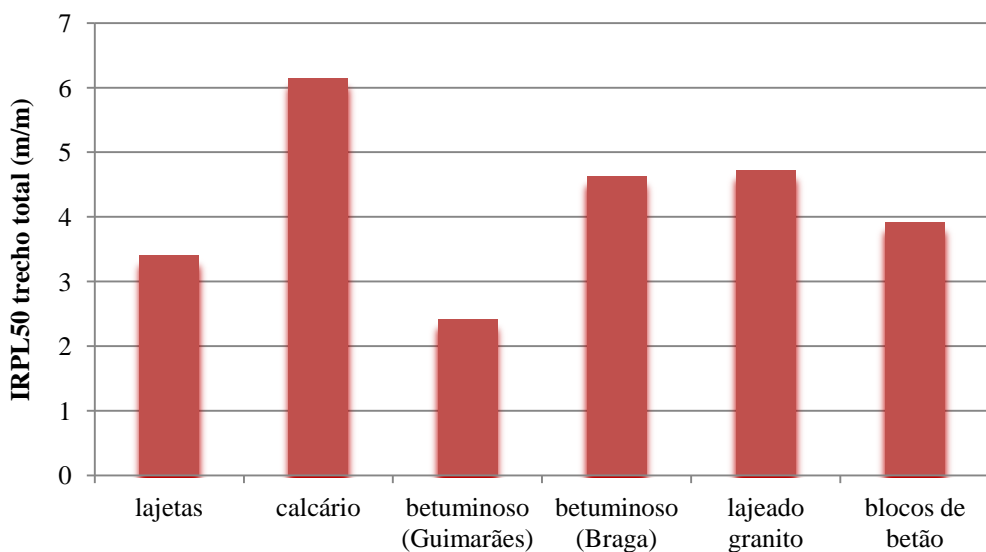


Figura 100 - Análise comparativa dos valores médios de IRP_{L50} dos vários trechos

Os resultados de IRP_{L50} tendo por base um comprimento de 50 cm mostram a mesma tendência do estudo do IRP_L na comparação entre trechos, pelo que as conclusões a retirar são as mesmas (já tendo sido explicado o motivo desses valores).

Pela utilização dos passeios, bem como da análise visual que se efetuou, era exetável que os trechos em lajeado de granito e blocos de betão apresentassem os maiores valores de irregularidade longitudinal. O trecho em blocos de betão pela existência de tampas de saneamento e de águas pluviais, bem como da degradação do mesmo, o que torna o caminhar desconfortável e perigoso. O trecho em lajeado de granito pela própria constituição do trecho, visto que as lajes proporcionam um trecho bastante irregular e desse modo bastante desconfortável. Porém, o facto de o trecho em cubos de calcário apresentar fortes pendentes para escoamento de águas pluviais torna esta solução a mais irregular. Este resultado causou alguma surpresa, porque este tipo de solução superficial para passeios aparenta oferecer algum conforto, não demonstrado pelos resultados deste trabalho.

Irregularidade do perfil transversal

No Quadro 10 apresentam-se os resultados da irregularidade transversal obtidos para todos os tipos de pavimentos estudados. Calculou-se a média dos valores de IRP_T obtidos para cada trecho, bem como o coeficiente de variação (CV), de modo a se compreender como se comporta o trecho em termos de regularidade.

Quadro 10 - Análise comparativa da irregularidade transversal dos vários trechos

Trecho	Média	Coeficiente de variação
Lajetas	4,066	0,089
Calcário	5,034	0,227
Betuminoso (Guimarães)	3,300	0,351
Betuminoso (Braga)	3,542	0,175
Lajeado granito	5,459	0,191
Blocos de betão	3,650	0,165

Pela análise deste conjunto de resultados verifica-se claramente que os trechos que apresentam maior irregularidade transversal são os trechos realizados em cubos de calcário e lajeado de granito. Estes dois tipos de pavimentos são compostos por elementos com juntas, em que várias componentes formam um todo (os pavimentos em lajetas e blocos de betão também englobam este grupo). Esse facto, por si só, já justifica a maior irregularidade transversal destes trechos.

No caso do trecho em calcário, as diferenças de inclinações, bem como as inclinações significativas para escoamento de água pluviais tornam o trecho bastante irregular. Pela utilização que se realizou como peão, percebe-se que se trata de um trecho confortável em algumas partes, mas que devido às inclinações se torna desconfortável e poderá mesmo provocar quedas a alguns utilizadores com menor mobilidade. O trecho em lajeado de granito é bastante desconfortável, quer devido em parte ao espaço entre as juntas das lajes, quer devido à própria irregularidade da superfície, não sendo este uma boa solução para o conforto e segurança dos peões.

O trecho em betuminoso, tal como se previa, é aquele que oferece maior regularidade transversal. O fato de ser neste que se verifica o maior coeficiente de variação diz respeito à diferença de desníveis provocados pela existência duma passadeira.

4.4 Método para Determinação da Reflexão do Pavimento *In Situ*

4.4.1 Trecho em Lajetas Pré-Fabricadas de Betão

Foram medidas a iluminância e a luminância em vários pontos ao longo deste trecho em lajetas pré-fabricadas de betão. Procurou-se estudar estes valores junto aos sistema de iluminação, entre estes e no início e fim dos trechos (Figura 101).

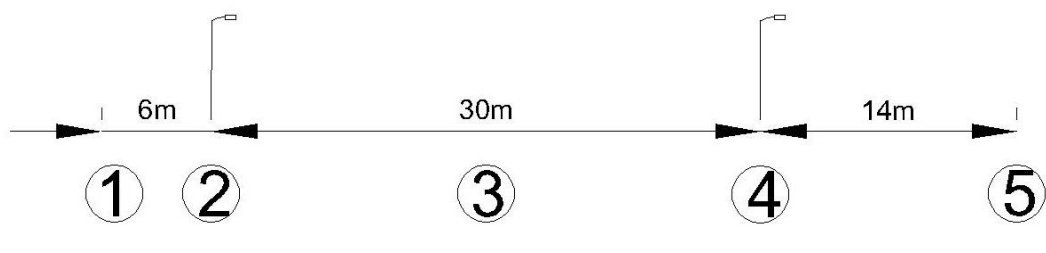


Figura 101 - Esquema da localização dos pontos de ensaio no trecho em lajetas pré-fabricadas em betão

Da análise destes pontos obtiveram-se os resultados apresentados no Quadro 11. Analisando os resultados obtidos verifica-se a baixa iluminação do trecho, com valores de iluminância

muito reduzidos que comprovam isso mesmo. De facto, neste trecho os valores de iluminância estão compreendidos entre 1,6 a 6,4 Lux e de luminância entre 0 e 0,3 Cd/m².

Quadro 11 - Valores de iluminância e luminância no trecho em lajetas pré-fabricadas de betão

Pontos de Medição	Iluminância (LUX)	Luminância (Cd/m ²)
1	2,1	0,0
2	6,4	0,3
3	3,2	0,2
4	1,9	0,1
5	1,6	0,2
Valor Médio	3,0	0,2

Como seria de esperar o ponto 2 (medido junto do sistema de iluminação) apresenta maior quantidade de luz incidente na superfície (iluminância) e conseqüentemente maior quantidade de luz refletida a partir da superfície na direção do observador (luminância). O mesmo não sucede com o ponto 4 que também foi analisado junto do sistema de iluminação. Isto acontece devido à existência de árvores ao longo do trecho (Figura 102), que bloqueiam a luz proveniente dos sistemas de iluminação, havendo locais onde devido às suas características as árvores bloqueiam mais a luz que noutros.

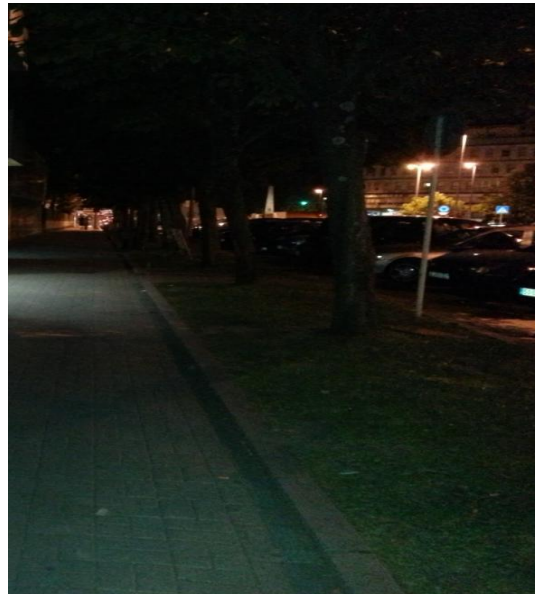


Figura 102 - Existência de árvores que bloqueiam a luz ao longo do trecho

A presença de árvores ao longo do trecho e o facto dos sistemas de iluminação estarem apenas orientados para a via de tráfego (Figura 103) e não para o passeio ajudam a explicar os reduzidos valores obtidos neste trecho.



Figura 103 - Orientação dos sistemas de iluminação apenas para a via de tráfego

4.4.2 Trecho em Cubos de Calcário

Os valores obtidos nas medições efetuadas no trecho em cubos de calcário são apresentados no Quadro 12 e a representação esquemática dos pontos em estudo na Figura 103.

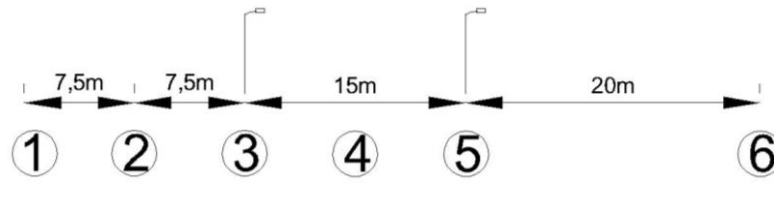


Figura 103 - Esquema da localização dos pontos de ensaio no trecho e, cubos de calcário

Quadro 12 - Valores de iluminância e luminância no trecho em Cubos de Calcário

Pontos de Medição	Iluminância (LUX)	Luminância (Cd/m ²)
1	53,8	7,1
2	41,3	3,6
3	70,7	7,6
4	21,1	1,3
5	69,0	7,5
6	57,6	6,0
Valor médio	52,3	5,5

Com base nos resultados obtidos constata-se que o trecho apresenta boas condições de iluminação (Figura 104), o que vai de encontro ao esperado aquando a análise visual, oferecendo uma sensação de segurança aos peões que o usam. Os valores de iluminância estão compreendidos entre 21,1 a 70,7 Lux e de luminância de 1,3 a 7,5 Cd/m² Como seria expectável, os pontos que se encontram próximos do sistema de iluminação (3 e 5) apresentam valores de iluminância e luminância superiores quando comparados com todos os outros. O ponto 4, que foi analisado entre os dois sistemas de iluminação, apresenta menor quantidade de luz incidente (iluminância) e por sua vez menor quantidade de luz refletida a partir da superfície na direção do observador (luminância).



Figura 104 - Boas condições de iluminação presentes no trecho

4.4.3 Trecho em Betuminoso

Da análise dos pontos representados na Figura 105, foram determinados os valores da iluminância e da luminância para o trecho em betuminoso na cidade de Guimarães. Os resultados são apresentados no Quadro 13.

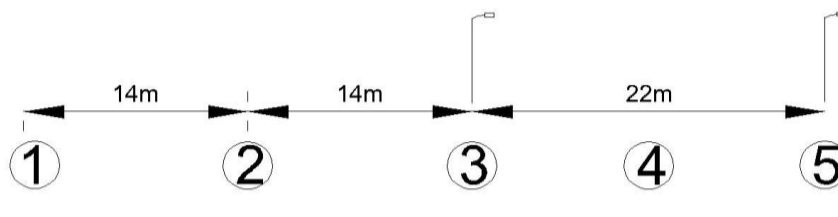


Figura 105 - Esquema da localização dos pontos de ensaio no trecho betuminoso (Guimarães)

Quadro 13 - Valores de iluminância e luminância no trecho em Betuminoso (Guimarães)

Pontos de Medição	Iluminância (LUX)	Luminância (Cd/m ²)
1	2,8	0,0
2	2,9	0,0
3	13,7	0,1
4	3,4	0,0
5	20,1	0,1
Valor Médio	8,6	0,0

Verifica-se que o trecho apresenta valores de iluminância compreendidos entre os 2,8 Lux (ponto 1) no início do trecho, a 20,1 Lux (ponto 5) situado junto ao sistema de iluminação. Estes valores vão de encontro ao esperado com a análise visual efetuada (Figura 106), que mostra um trecho com baixa iluminação. Destacam-se os valores quase nulos para a quantidade de luz refletida a partir da superfície na direção do observador (luminância), que refletem a baixa propriedade de reflexão deste tipo de pavimento devido à sua cor escura.



Figura 106 - Condições de iluminação razoáveis no trecho de betuminoso em Guimarães

Já no trecho em betuminoso na cidade de Braga os valores obtidos com as medições efetuadas nos pontos indicados na Figura 107 originaram os resultados apresentados no Quadro 14.

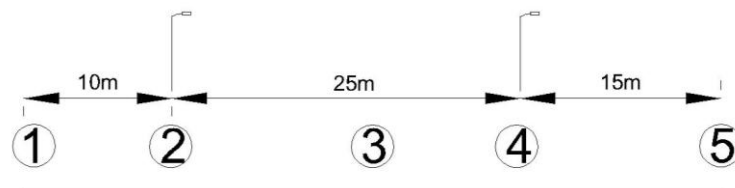


Figura 107 - Esquema da localização dos pontos de ensaio no trecho betuminoso (Braga)

Quadro 14 - Valores de iluminância e luminância no trecho em Betuminoso (Braga)

Pontos de Medição	Iluminância (LUX)	Luminância (Cd/m ²)
1	0,6	0
2	0,6	0
3	0,5	0
4	0,6	0
5	1,7	0,1
Valor Médio	0,8	0,0

Neste trecho os valores de iluminância estão compreendidos entre 0,5 entre os sistemas de iluminação (ponto 3) e 1,7 Lux no final do trecho. Quanto aos valores de luminância são praticamente nulos, à exceção do ponto 5 que apresenta uma quantidade de luz refletida a partir da superfície na direção do observador (luminância) de 0,1 Cd/m².

Constata-se que junto aos sistemas de iluminação (pontos 2 e 4) os valores para a iluminância e luminância são muito semelhantes aos registados no início e entre estes. Isto resulta do fato de o sistema de iluminação no ponto 2 se encontrar desligado na altura do ensaio, como parte da medida de poupança energética levada a cabo na cidade de Braga. Um outro motivo que poderá explicar esta semelhança nos valores é a orientação dos sistemas de iluminação estar voltada para a estrada e não para o passeio, bem como a presença de árvores que bloqueiam a luz proveniente desses candeeiros, tornando o passeio mais inseguro devido à reduzida luminosidade existente, conforme se pode constatar na Figura 108.

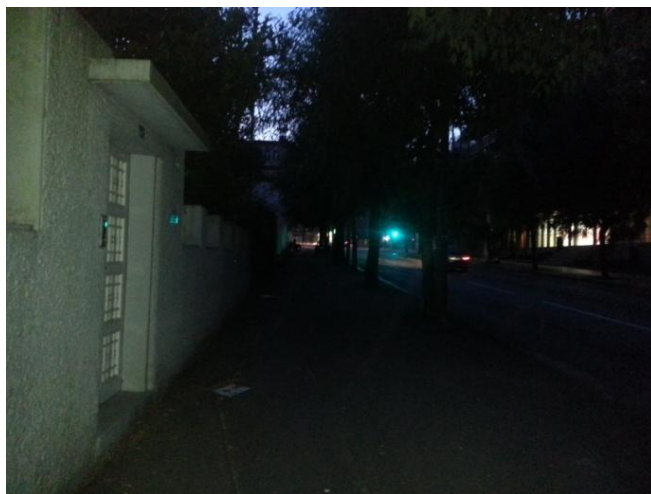


Figura 108 - Má visibilidade presente no trecho em pavimento Betuminoso (Braga)

4.4.4 Trecho em Lajeado de Granito

Foram analisados três pontos neste trecho em lajeado de granito, como pode ser verificado na Figura 109. Da análise desses pontos registaram-se os resultados apresentados no Quadro 15.

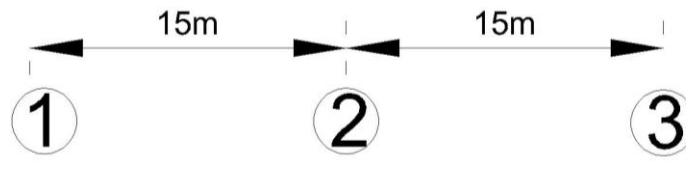


Figura 109 - Esquema da localização dos pontos de ensaio no trecho em lajeado de granito

Quadro 15 - Valores de iluminância e luminância no trecho em lajeado de granito

Pontos de Medição	Iluminância (LUX)	Luminância (Cd/m ²)
1	4,52	0,2
2	6,2	0,2
3	1,3	0,1
Valor Médio	4,0	0,2

Da análise dos resultados verificou-se uma iluminância compreendida entre 1,3 a 6,2 Lux. A diferença entre os valores da iluminância do ponto 1 e 2 relativamente ao ponto 3 é explicado pelo facto de o trecho não possuir sistemas de iluminação, e como se pode verificar pela Figura 110 existem zonas onde se verifica maior quantidade de luz incidente proveniente de outras fontes de iluminação de passeios circundantes que não o passeio em estudo, o que resulta na discrepância nos valores registados de Iluminância. Verificou-se de igual modo uma luminância quase nula, com valores compreendidos entre os 0,1 a 0,2 Cd/m².

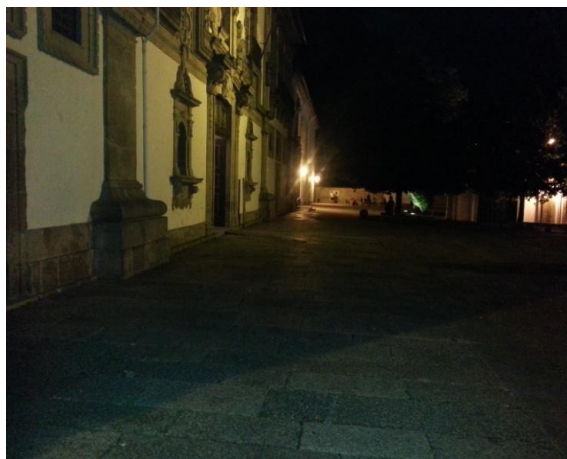


Figura 110 - Iluminação presente no trecho em lajeado de granito

4.4.5 Trecho em Blocos de Betão

Finalmente foi realizada uma análise dos valores da iluminância e da luminância no trecho em blocos de betão, nos pontos esquematizados na Figura 111. Desses ensaios resultaram os valores apresentados no Quadro 16.

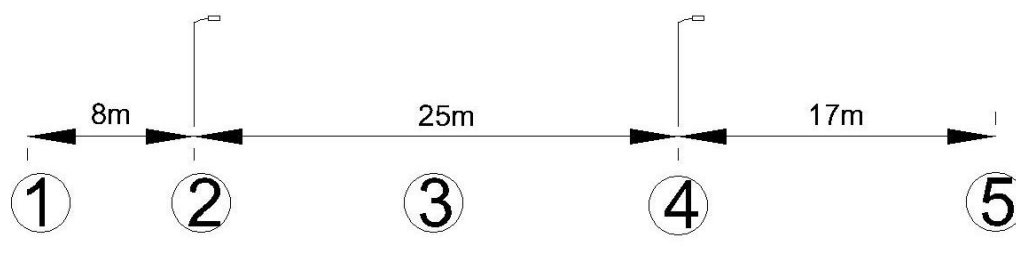


Figura 111 - Esquema da localização dos pontos de ensaio no trecho em blocos de betão

Quadro 16 - Valores de iluminância e luminância no trecho em blocos de betão

Pontos de Medição	Iluminância (LUX)	Luminância (Cd/m ²)
1	5,6	0,4
2	16,6	0,6
3	4,7	0,3
4	12,5	0,8
5	3,7	0,2
Valor Médio	8,6	0,5

Da análise dos dados obtidos constata-se que os valores de iluminância variam entre os 3,7 (ponto 5) a 16,6 Lux (ponto 2). Os pontos 2 e 4 que apresentam os maiores valores de iluminância, enquanto o ponto 5 tem a menor quantidade de luz incidente.

Estes resultados vão de encontro ao esperado, na medida em que os pontos que foram analisados junto aos sistemas de iluminação possuem maiores quantidades de luz incidente (pontos 2 e 4), e o ponto analisado no fim do trecho e que coincide com o ponto mais afastado dos sistemas de iluminação (ponto 5) apresenta menor quantidade de luz incidente. Pode observar-se na Figura 112 as condições de iluminação presentes neste trecho para ajudar a compreender os resultados obtidos. Quanto à luminância, esta possui valores reduzidos compreendidos entre os 0,2 a 0,8 Cd/m², embora neste caso os valores não sejam nulos.



Figura 112 - Iluminação presente no trecho em blocos de betão

4.4.6 Comparação dos Resultados de Reflexão Medidos *in Situ*

Apresenta-se na Figura 113 uma análise comparativa dos diferentes trechos, por forma a ser possível comparar os resultados de iluminância obtidos *in situ* para cada solução. Para esta análise procurou-se apresentar a iluminância para cada um dos trechos com base nos valores mínimos, máximos e médios dos resultados obtidos, por forma a realizar uma comparação mais precisa e abrangente.

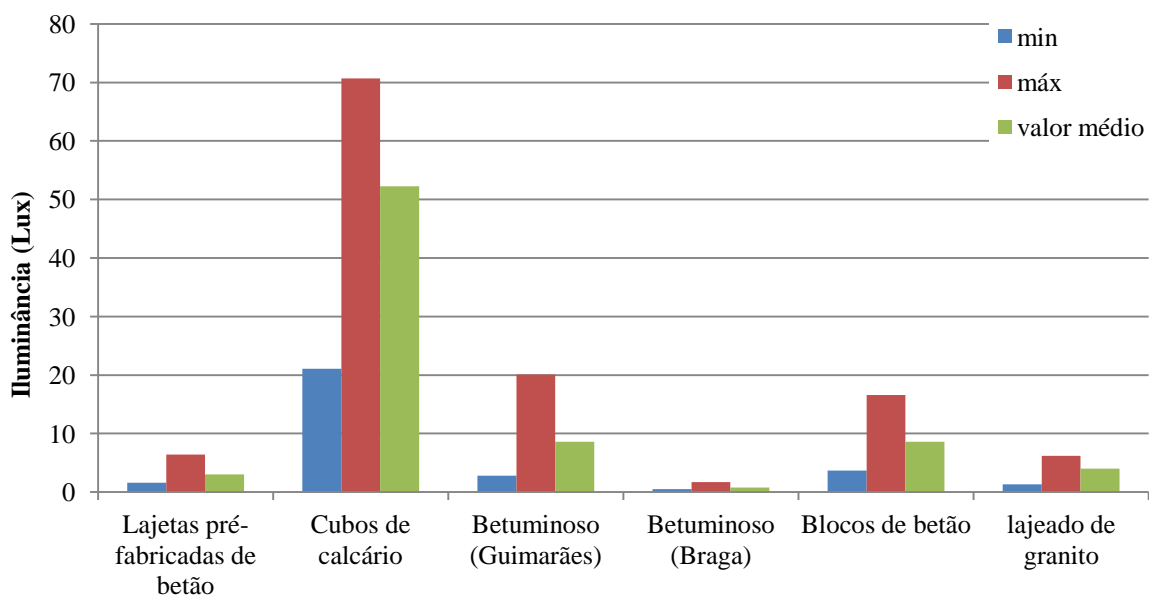


Figura 113 - Análise comparativa dos resultados dos ensaios para determinação da iluminância

Com base nos resultados obtidos constata-se que o trecho que possui maior quantidade de luz incidente na superfície é o trecho em cubos de calcário, apresentando um valor médio de aproximadamente 50 Lux. Isso resulta num trecho com boa iluminação, o que vai de encontro à análise visual inicialmente realizada. Os trechos em lajeado de granito, lajetas pré-fabricadas de betão e betuminoso (em Braga) apresentam uma baixa quantidade de luz incidente na superfície do pavimento que constitui o passeio, apresentando um valor médio de aproximadamente 4, 3 e 0,8 Lux respetivamente, o que vai de encontro ao esperado com base na análise visual.

A exceção à regra de haver uma boa relação entre a análise visual e os resultados de iluminância ocorreu no trecho em lajeado de granito (na análise visual concluiu tratar-se de um trecho com boas condições de iluminação, mas após os resultados obtidos com a medição da iluminância isso não se verificou). Isso poderá estar relacionado com o facto deste trecho se inserir numa praça e a iluminação desta criar a sensação de se estar perante uma zona bem iluminada, mas quando se estuda apenas para um trecho dessa praça isso não se verifica.

Em seguida, para a análise dos resultados obtidos nos trechos com o ensaio para determinação da luminância, procedeu-se a uma análise comparativa que poderá observar-se na Figura 114.

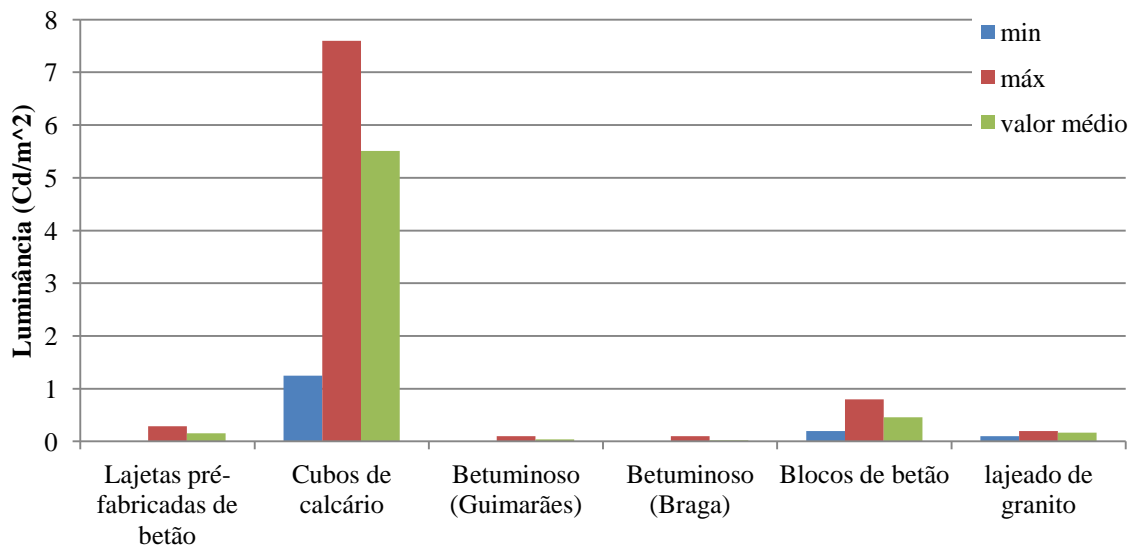


Figura 114 - Análise comparativa dos resultados dos ensaios para determinação da luminância

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que o trecho em cubos de calcário apresenta a maior quantidade de luz refletida a partir da superfície na direção do observador quando

comparado com os restantes trechos. Neste sentido, e para as condições verificadas *in situ*, constata-se que este tipo de solução reflete maior quantidade de luz, apresentando um valor médio de $5,5 \text{ Cd/m}^2$.

Por outro lado, os trechos em pavimento betuminoso são aqueles que apresentam menores propriedades refletivas, apresentando quer o trecho em Guimarães, quer em Braga, baixos valores de luminância (com valores médios de aproximadamente 0).

4.5 Método para Determinação da Reflexão dos Materiais em Laboratório

Por último procedeu-se à avaliação da quantidade de luz refletida a partir da superfície (luminância) numa situação onde se controlou a quantidade de luz incidente (iluminância), de modo que a segunda variável não influencie a primeira em análise. Só desta forma se pode concluir qual dos materiais que compõem os diferentes trechos apresentam melhores propriedades de reflexão.

Esses ensaios foram realizados em laboratório, e os resultados obtidos são apresentados na Figura 115 e no Quadro 17.

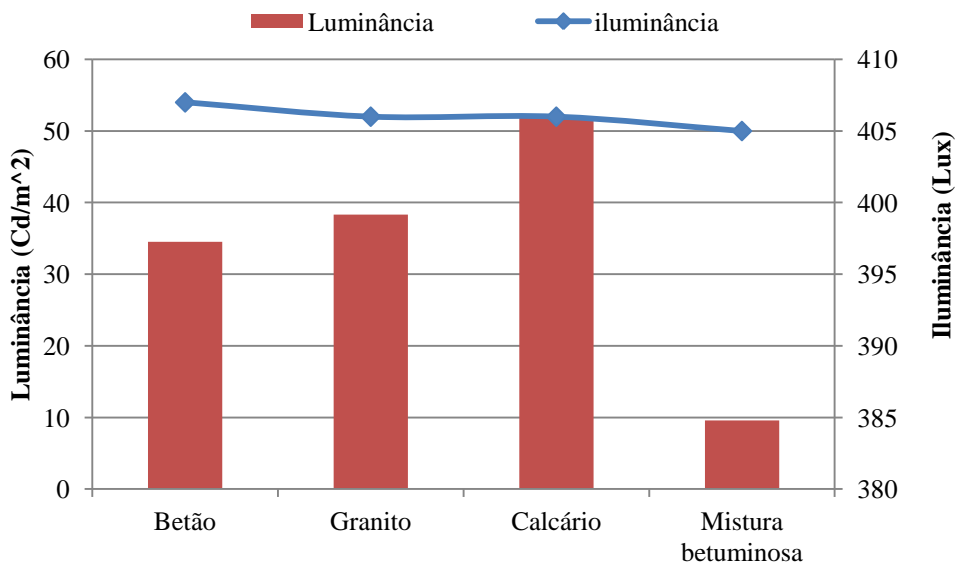


Figura 115 - Análise comparativa da reflexão de diferentes tipos de materiais

Quadro 17 - Resultados do ensaio para determinação da iluminância e luminância em laboratório

Material	Iluminância (Lux)	Luminância (Cd/m ²)
Betão	408	34,5
Granito	407	38,3
Calcário	406	52,1
Mistura Betuminosa	405	9,6

Verifica-se que quando expostos à mesma quantidade de luz, os materiais que garantem maior quantidade de luz refletida são o calcário e o granito. Isso é demonstrado pela análise dos resultados obtidos onde se constata que para valores de iluminância semelhantes (a variar entre os 405 a 407 Lux) a quantidade de luz refletida pela superfície é muito superior no calcário, com aproximadamente 52 Cd/m², quando comparado com os restantes materiais. O betão e o granito apresentam valores de reflexão (luminância) ligeiramente inferiores e muito semelhantes, com valores de aproximadamente 35 e 38 Cd/m² respetivamente. Como seria de esperar devido à sua cor escura, o material que oferece menores propriedades de reflexão da quantidade de luz incidente são as misturas betuminosas, com um valor de 9,6 Cd/m², que se mostra muito inferior a todos os outros.

Comparativamente com os resultados *in situ*, e apesar de nesses ensaios a quantidade de luz incidente ser sempre diferente de uns trechos para os outros, verifica-se uma analogia com os resultados obtidos em laboratório.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

Os pavimentos para redes de infraestruturas pedonais são um tema ainda pouco abordado nos dias de hoje, em parte devido à importância dada aos pavimentos rodoviários, que relevam o espaço pedonal para segundo plano no contexto urbano. No entanto, com a crescente preocupação com o ambiente e com a saúde pessoal, bem como com a crise económica que se faz sentir, o uso de modos suaves como o caminhar e o ciclável ganharão cada vez mais preponderância no meio urbano.

Na fase de definição do projeto para passeios existe uma panóplia de soluções para a pavimentação da rede pedonal, que vão desde passeios em betão, a passeios em betuminoso, tijolo e pedra, entre outros.

Independentemente da solução a adotar será necessário a adequação desta às funções e solicitações pretendidas, nunca esquecendo os aspetos funcionais e estéticos que cada uma oferece.

Na presente dissertação foram analisadas várias características funcionais como a textura, atrito, irregularidade longitudinal e transversal, bem como a reflexão da superfície do pavimento em vários trechos de passeios nas cidades de Guimarães e Braga executados com diferentes materiais.

Quanto ao estudo da textura verificou-se que os pavimentos compostos por lajeado de granito apresentam maior rugosidade, com maiores valores da profundidade média da textura quando comparados com as restantes soluções. Contudo, os pavimentos em blocos de betão e cubos de calcário apresentam resultados muito semelhantes. As soluções que apresentaram menores valores de profundidade média da textura, e conseqüentemente menor rugosidade, são as soluções em betuminoso quando em bom estado de conservação e a de lajetas pré-fabricadas de betão. Este parâmetro é importante pois permite conhecer o nível de conforto e segurança dos passeios.

No estudo do atrito conclui-se que os pavimentos em lajetas pré-fabricadas de betão, betuminosos e blocos de betão oferecem maior segurança aos peões que o utilizam, quando comparados com as restantes soluções. Este parâmetro é muito importante, na medida que, está diretamente ligado à segurança dos peões, mais concretamente com o risco de escorregamento em piso molhado por parte destes. Por outro lado, os cubos de calcário foram a solução com pior desempenho nesta propriedade.

Relativamente à irregularidade longitudinal (IRP_L e IRP_{L50}) verificou-se que o trecho em cubos de calcário apresenta-se como a solução mais irregular, enquanto o trecho em betuminoso (Guimarães) oferece a superfície mais regular. Destaca-se o fato de o trecho em betuminoso (Braga) oferecer uma das superfícies mais irregulares, isto devido ao seu mau estado de conservação. Quanto à irregularidade transversal (IRP_T) observou-se que o trecho em lajeado de granito apresenta uma superfície mais irregular, logo seguido pelo trecho em cubos de calcário. Por outro lado, e como sucede com a irregularidade longitudinal, o trecho em betuminoso apresenta-se como o mais regular, e que oferece maior conforto e segurança aos peões.

No entanto, deve ter-se em consideração que estes resultados de irregularidade são válidos apenas para os trechos em estudo, não sendo desde já possível extrapolar para outros passeios do mesmo tipo as conclusões obtidas neste trabalho, visto que outras variáveis indiretas podem ter uma grande influência no resultado obtido.

Na determinação da reflexão da superfície dos pavimentos constatou-se através dos ensaios em laboratório que os pavimentos em calcário apresentam melhor resposta em termos de reflexão da luz incidente, sendo uma boa solução para ambiente urbano. Maior reflexão por parte da superfície do passeio terá implicações favoráveis na economia da luz proveniente dos postes de iluminação, bem como em aumentar a quantidade de luz presente nos passeios, aumentando dessa forma o sentimento de segurança dos peões utilizadores do passeio, em especial em condições de ambiente noturno. Por outro lado, e como seria de esperar, as superfícies em betuminoso manifestam piores resultados em termos de reflexão da quantidade de luz incidente. Este tipo de soluções tem o inconveniente de necessitarem de mais energia para oferecerem a mesma quantidade de iluminação do que os pavimentos com melhores propriedades de reflexão da luz incidente.

5.2 Estudos Futuros

Durante a execução deste trabalho sentiu-se dificuldade em encontrar normas ou trabalhos realizados na área que permitam uma comparação dos resultados obtidos por forma a validar os mesmos e a perceber com maior precisão a qualidade oferecida pelos passeios. Desse modo, recomenda-se que para trabalhos futuros sejam definidos esses indicadores, por forma a obter-se uma comparação mais precisa dos resultados obtidos nos ensaios, sendo esta dissertação um bom ponto de partida para se ter alguns valores de comparação.

Além disso, em trabalhos futuros dever-se-á realizar uma caracterização estrutural dos passeios, por forma a se relacionar as degradações destes com as solicitações a que estão sujeitos e com a capacidade estrutural apresentada. Deste modo pretende-se obter mais um parâmetro que permita ajudar a aferir a qualidade estrutural dos passeios.

Por último, sugere-se que seja realizada a caracterização funcional para toda a rede pedonal numa zona urbana. Nessa caracterização poder-se-á estudar apenas uma característica ou várias, em função dos problemas detetados e a resolver na zona urbana a intervir. Com essa análise, e ao contrário do que se obtém com a de pequenos trechos (como a realizada neste trabalho), resultaria em valores com mais representatividade estatística para ilustrar a qualidade dos passeios, obtendo-se um mapa da rede pedonal da qualidade dos passeios.

Poder-se-ia de igual modo seleccionar um grupo de utentes que iriam avaliar os passeios numericamente numa escala previamente definida, o que permitiria, em conjunto com os resultados obtidos com os ensaios de caracterização funcional e estrutural em toda a rede, caracterizar em termos de conforto e segurança a rede pedonal. Um trabalho desse tipo permitiria obter valores de referência futura para a qualidade mínima desejável nos passeios a nível funcional, entre outros, sendo um contributo importante para a melhoria global dos passeios.

Apesar de este trabalho ser ainda um pequeno contributo no caminho a percorrer para se conseguir construir melhores estradas, foi possível avançar um pouco nesse sentido ao conseguir implementar uma metodologia de estudo desses espaços urbanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (1999). Guide for the development of bicycle facilities, American Association of State Highway and Transportation Officials, United States.
- ABCP (2009). Pavimento intertravado, Associação Brasileira de Cimento Portland, <http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/aplicacoes/pavimento-intertravado>, Acedido em 12-03-2013.
- ABPv (2009). Análise da macrotextura e microtextura em duas rodovias do estado do Ceará, Associação Brasileira de Pavimentação, IV simpósio internacional de avaliação de pavimentos e projetos de reforço, Fortaleza.
- ACAP. (2005). A Guideline for the design and construction of Asphalt Pavements for Colorado trail & paths, Colorado, Colorado Asphalt Pavement Association.
- Al-Azzawi, M., Raeside, R. (2007). Modeling Pedestrian Walking Speeds on Sidewalks. *journal of urban planning and development*, Vol. 133.
- Alexander, B.H., Rivara, F.P., Wolf, M.E. (1992). The cost and frequency of hospitalization for fall-related injuries in older adults. *American Journal of Public Health*; Vol. 82, pp. 1020-3.
- ANF (2008). Um milhão e meio de idosos em Portugal. Associação Nacional das Farmácias, *Revista Farmácia Saúde*.
- Antunes, I.A. (2012). Estudo da Incorporação de Materiais de RCD em Misturas Betuminosas, Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães.
- APA (2010). Projeto mobilidade sustentável, volume II - Manual de boas práticas para uma mobilidade sustentável, Amadora, Agência Portuguesa do ambiente.
- Barella, R.M. (2008). Contribuição para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com perfilômetros inerciais. Tese de doutoramento, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Bastos, C. (2013). Diretrizes para a construção de ciclovias. <http://www.rpu.org.br/Diretrizes%20para%20a%20constru%C3%A7%C3%A3o%20de%20ciclovias%20-%20Cristiane%20Bastos.pdf>, Acedido em 14-01-2013
- Beg, M.A., Zhang, Z., Hudson, W.R. (1998). A rational pavement type selection procedure.
- Berg, W.P., Alessio, H.M., Mills, E.M., Tong, C. (1997). Circumstances and consequences of falls in independent community-dwelling older adults. *Journal Age Ageing*, 26, 261-8.

- Boggelen, O.V., Diteweg, R. (2006). Asphalt as surface for bicycle paths: desirable and possible.
- CAPA (2005). A guideline for the design and construction of asphalt pavements for Colorado trails & paths, Colorado Asphalt Pavement Association, Colorado.
- Carmona, M., Tiesdell, S., Heath, T., Oc, T. (2003). Public places, urban spaces: the dimension of urban design, Boston.
- CCDRN (2008). Manual do planeamento de acessibilidades e transportes, Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.
- CEAP (2005). Pavimentos dos percursos cicláveis, Centro de estudo de Arquitetura Paisagística, Lisboa.
http://www.isa.utl.pt/ceap/ciclovias/new_page_153.htm, Acedido em 08-05-2013
- CPA (2000). Roads and sidewalks standard drawings, City of Port Albertini, Port Albertini.
- CREA-BA (2009). Guia Prático para a Construção de Calçadas, conselho regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia da Bahia.
- CS (2009). Standard construction details, City of Savannah, Savannah.
- EAPA (2010). Driving ahead with sustainable asphalt roads, European Asphalt Pavement Association, Brussels, Belgium,
<http://www.eapa.org/asphalt.php?c=78>, Acedido em 02-05-2013
- Elvik, R. (1995). Meta-analysis of evaluation of public lighting as accident countermeasure, Transportation Research record no.1485, pp 112-113.
- Ferreira, J.F. (2009). Aplicação de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em Camadas de Sub-base Não Ligadas de Estradas de Baixo Tráfego, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- FHWA (2002). Bike lane design guide, U.S. Department of transportation Federal Highway Administration.
- FHWA (2006). Course on Bicycle and Pedestrian Transportation, U.S. Department of transportation Federal Highway Administration.
- FHWA (2013). Recommend guidelines/priorities for sidewalks and walkways, U.S. Department of transportation Federal Highway Administration.
- FOCMANRC (2004). Sidewalk design, Construction and maintenance. Federation of Canadian Municipalities and National Research Council, Canada.

- Fotios, S., Boyce, P., Ellis, C. (2005). The Effect of Pavement material on Road lighting Performance.
- Franklin, F. (1999). Two decades of the Redway paths of Milton Keynes, Traffic Engineering and control.
- Freitas, E.F. (2008). Contribuição da superfície dos pavimentos para a produção do ruído, Guimarães.
- Gibbons, J. (1999). Pavements and surface materials, University of Connecticut, Connecticut.
- Gryfe, C.I., Amies, A., Ashley, M.J. (1977). A longitudinal study of falls in an elderly population. I. incidence and mobility. Journal Age Ageing, Vol. 6, pp. 201-10.
- GSLLP (2013). Uneven sidewalk/ walkway injuries. Goidel & Siegel LLP <http://sidewalkaccidentlawyer.com/uneven-sidewalk-injuries.htm>, Acedido em 05-05-2013.
- Hampson, R. (2006). Sidewalks bounce back, USA
- Hölzel, C.F., Höchtll, Senner, V. (2012). Cycling comfort on different road surfaces.
- HSE (2007), assessing the slip resistance of flooring, Health and Safety Executive, Liverpool.
- IMTT (2011). Rede pedonal- princípios de planeamento e desenho, Instituto de Mobilidade e dos Transportes Terrestres, Lisboa. http://www.conferenciamobilidade.imtt.pt/pacmob/rede_pedonal/Rede_Pedonal_Principios_de_Planeamento_%20e_Desenho_Marco2011.pdf, Acedido em 16-03-2013
- InIR (2012). Diretivas para a concepção de pavimentos. Critérios de dimensionamento de pavimentos, Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias, Lisboa.
- ITE (1998). Design and Safety of Pedestrian Facilities, the Institute of Transportation Engineers.
- Jackett, M.J., Frith, W. J. (2009). Measurement of the reflection properties of road surface to improve the safety and sustainability of road lighting, NZ Transport Agency research.
- LCDS (2013). Chapter 6- signs and markings and chapter 7-Construction including surfacing, Londres, London Cycling Design Standards, London. <http://www.tfl.gov.uk/businessandpartners/publications/2766.aspx>, Acedido em 15-03-2013
- Lee, J.L., Jang, T.Y., Wang, W., Namgung, M. (2009). Design Criteria for an Urban Sidewalk landscape Considering Emotional Perception. Journal of urban planning and development, Vol. 135.
- Lutkevitch, P., Mclean, D., Cheung, J. (2012). FHWA - Lighting Handbook. http://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/night_visib/lighting_handbook/, Acedido em 21-04-2012.

- Macedo, P., Macedo, M. (2008). Mobilidade e Qualidade do ar, Plano estratégico de Ambiente do Grande Porto.
- Menezes, M.V.P. (2008). Estudo das características de superfície de pavimentos rodoviários para análise da segurança do tráfego, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Morgado, P.R.S. (2008). Conceção e Dimensionamento de Pavimentos em Blocos, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- MPA (2009). Construction and surfacing of footways and cycleways using asphalt, Mineral Products Association, London
- MVNG (2013). Passeios em betão betuminoso, Município de Vila Nova de Gaia, <http://www.cm-gaia.pt/gaia/linkto?contentid=6795809A80CO>, Acedido em 11-06-2013.
- MVNG (2013). Pavimentação a cubos de granito, Município de Vila Nova de Gaia. http://www.cmgaia.pt/portais/downloadHandler.ashx?CONTENTITEMOID=5297808080CB80GC&CLASSTOKEN=cmg_download&ATTRIBUTEID=download, Acedido em 16-03-2013.
- NCDOT (1994). North Carolina Bicycle Facilities Planning and Design Guidelines, North Carolina, North Carolina Department of Transportation.
- OAPA (2010). A Guideline for the design & construction of asphalt parking lots in Oklahoma, Okhaloma Asphalt Pavement Association.
- Oliver-Solà, J., Josa, A., Rieradevall, J., Gabarrell, X. (2009). Environmental optimization of concrete sidewalks in urban areas, The International Journal of Life Cycle Assessment, Vol 14, pp 302-312.
- Pereira, P., Miranda, V. (1999). Gestão da conservação dos pavimentos rodoviários, Universidade do Minho, Braga.
- Pettermann, R. (2006). Avaliação do Desempenho de Blocos de Concreto para Pavimentação com Metacaulino e Sílica Ativa, Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Pimenta, J.G. (2008). Pavimento urbano: Adequação ao uso, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- PSP (2013). Calçadas. Prefeitura de São Paulo, São Paulo, <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/calçadas/index.php?p=37136>, Acedido em 12-03-2013.

- Ramos, P:A.M. (2008). Projeto de ciclovias, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Salles, J. (2010). ONU elegeu a bicicleta como o transporte ecologicamente mais sustentável do planeta, <http://www.jornaloeste.com.br/?pg=noticia&idn=12877>, Acedido em 13-04-2013.
- Santos, J.M.R. (2010). Materiais Utilizados na Construção de Pavimentos Rodoviários, Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro.
- SCDFMCP (2013). Standard drawings for roads, Standard Contract Documents for Municipal Construction Projects, London.
- Sedon, B. (2011). Asphalt sidewalks -yesterday and today. The Magazine of the Asphalt Institute.
- SNTMU (2007). Caderno de referência para a elaboração de: plano de mobilidade por bicicletas nas cidades, Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana, Brasília.
- Specht, L., Rozek, T., Hirsch, F., Santos, R.T. (2007). Avaliação da macrotextura de pavimentos através do ensaio de mancha de areia, teórica e prática na Engenharia Civil, n.10, pp. 30-38.
- Sullivan, J.M., Flannagan, M.J. (2006). Determination the potential safety benefit of improved lighting in three pedestrian crash scenarios.
- Thies, S.B., Richardson, J.K., Ashton-Miller, J.A. (2004). Effects of a surface irregularity and Lighting on step variability during gait: A study in young and older women.
- UKSRG (2005). The assessment of floor slip resistance, The UK Slip Resistance Group Guidelines, UK.
- Vicente, J.S. (2005). Características de visibilidade das marcas rodoviárias, Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Porto.
- Vlastos, T., Milakis, T., Athanasopoulos, C. (2005). The research for cycling in Greece. Methodology of planning. Infrastructure and typology of design solutions. Proceeding of the 15th International Velo-City, Conference. Dublin (Ireland).
- Ylinen, A.M., Pellinen, T., Valtonen, J., Puolakka, M., Halonen, L. (2011) Investigation of pavement light reflection characteristics, Road Materials and Pavement Design, Vol 12, no 3/2011.
- Zegeer, C.V., Seiderman, C., Lagerwey, P., Cynecki, M., Ronkin, M., Schneider, R. (2002). Pedestrian Facilities user Guide- Providing safety and mobility.