

Plano

de

Arborização

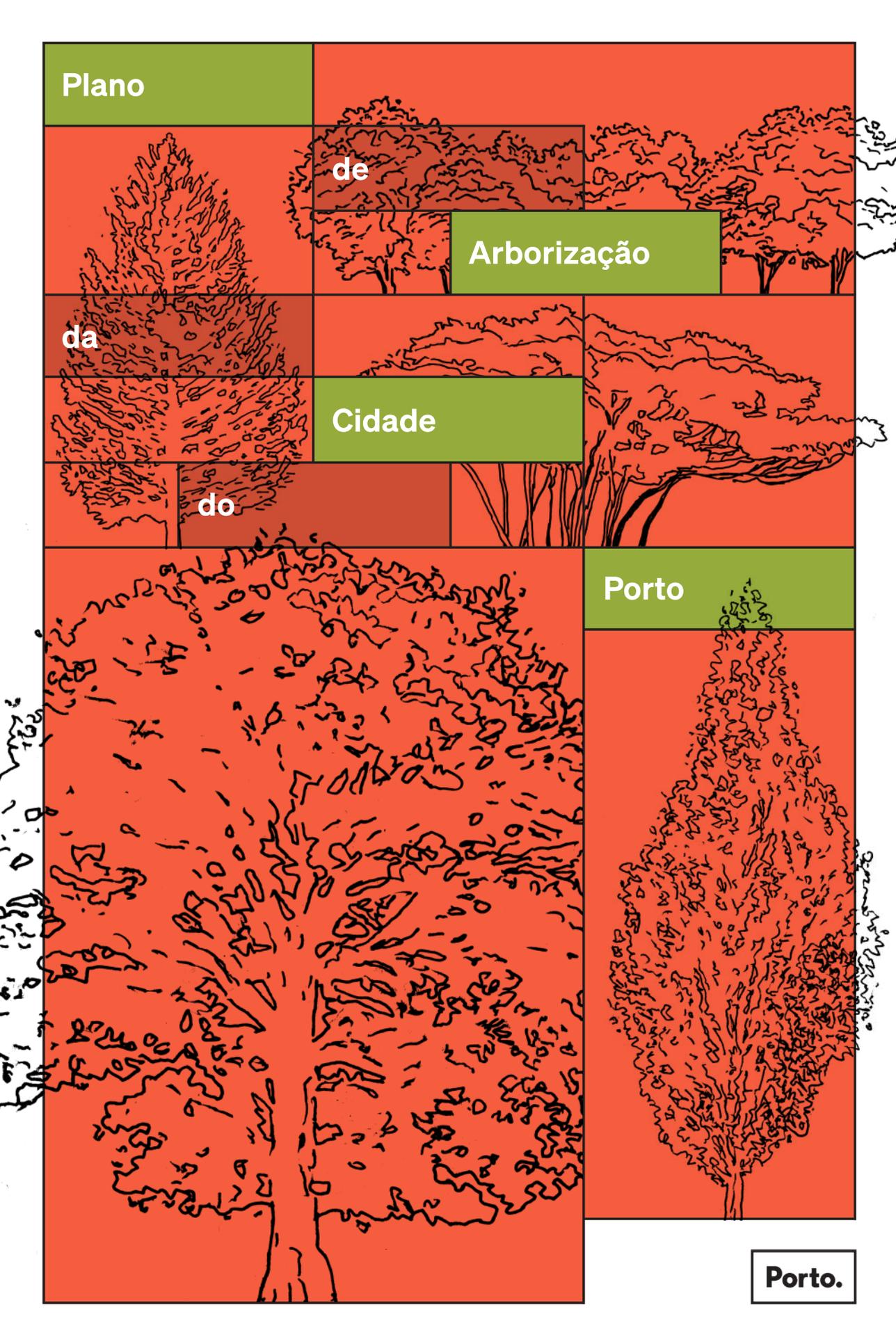
da

Cidade

do

Porto

Porto.



Plano de Arborização da Cidade do Porto

Plano de Arborização da Cidade do Porto

Coordenação

Paulo Farinha Marques (Arquitetura Paisagista)

Ana Monteiro (Bioclimatologia)

Porto.

Propriedade

Município do Porto

- (1) (2) **Coordenação**
- (3) (4) Paulo Farinha Marques (Arquitetura Paisagista)
Ana Monteiro (Bioclimatologia)

- (1) (2) **Co-Coordenação**
- (3) (4) José Miguel Lameiras (Arquitetura Paisagista)
Helena Madureira (Bioclimatologia)

- (2) **Equipa de Arquitetura Paisagista**
- (2) Filipa Guilherme
- (2) Rita Araújo
- (1) (2) Manuel Gentil Rebelo
- (2) Cláudia Fernandes
David Campos
Rosendo Alves
Francisca Aguiar Pinto

Equipa de Bioclimatologia

Maysa Valença
Maria Pacheco

- (5) (6) **Consultoria de Arquitetura/Urbanismo**
- (5) (6) Nuno Valentim
- (5) (6) Teresa Calix
Daniel Casas-Vale

Design Gráfico

Studio Andrew Howard

Depósito Legal

550760/25

ISBN

978-989-36258-4-2

- (1) Associação BIOPOLIS – Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CIBIO-INBIO)
- (2) Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP)
- (3) Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT)
- (4) Faculdade de Letras da Universidade do Porto (FLUP)
- (5) Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto (FAUP)
- (6) Centro de Estudos de Arquitetura e Urbanismo (CEAU)

Como citar:

Farinha-Marques, P. & Monteiro, A. (coord.).
2025. Plano de Arborização da Cidade do Porto.
Câmara Municipal do Porto

Índice

17	1. Introdução geral	127	6. O futuro da arborização das ruas do Porto
19	2. A arborização das ruas das cidades	127	6.1. Orientações para a definição de uma rede de arborização para o município
19	2.1. Enquadramento histórico	129	6.2. Modelos de arborização de arruamento
22	2.2. Estratégias atuais de arborização	129	6.2.1. Introdução aos modelos
29	2.3. Contexto bioclimático. A rua: uma escala de análise	135	6.2.2. Modelos para ruas estreitas
33	3. Princípios orientadores e principais conceitos	140	6.2.3. Modelos para ruas médias
47	4. Metodologia	149	6.2.4. Modelos para ruas largas
48	4.1. Definição do objeto de estudo	160	6.2.5. Modelos para ruas muito largas
49	4.2. Classificação das árvores de arruamento consoante a largura da copa	184	6.2.6. Modelos de exceção
52	4.2.1. Árvores de copa estreita	189	7. Protótipos de intervenção: demonstração da aplicação dos modelos em ruas reais do Porto
54	4.2.2. Árvores de copa média-estreita	189	7.1. Seleção dos protótipos de intervenção
56	4.2.3. Árvores de copa média-larga	194	7.2. Contexto bioclimático das ruas-protótipo
58	4.2.4. Árvores de copa média-larga	194	7.2.1. Introdução
60	4.2.5. Árvores de copa muito larga	196	7.2.2. Avaliação do contexto bioclimático no <i>canopy layer</i> das 10 ruas-protótipo
62	4.3. Classificação do tipo de alinhamento – Espacialização da arborização de arruamento	214	7.2.3. Validação do contexto bioclimático das 10 ruas-protótipo a partir de medições itinerantes
65	4.4. Classificação das ruas de acordo com a sua largura	218	7.2.4. Análise individual dos potenciais benefícios bioclimáticos da arborização das ruas-protótipo
69	5. Análise da situação existente	230	7.3. Demonstração dos protótipos de intervenção
69	5.1. Caracterização das ruas da cidade do Porto	238	7.3.1. Rua do Heroísmo
69	5.1.1. Largura das ruas	244	7.3.2. Rua de Camões
73	5.1.2. Arborização de arruamento	250	7.3.3. Avenida de Rodrigues de Freitas
85	5.2. Contexto bioclimático das ruas da cidade do Porto	259	7.2.4. Rua de Pinto Bessa
89	5.2.1. As árvores e a temperatura	268	7.2.5. Rua de Gondarém
100	5.2.2. As árvores e a ventilação	275	7.2.6. Rua de Damião de Góis
105	5.2.3. As árvores como reguladoras da qualidade do ar	285	8. Conclusão e reflexões finais
108	5.2.4. As árvores e a regularização das condições hidrológicas	289	9. Referências
112	5.3. Diagnóstico: oportunidades e constrangimentos das ruas do Porto para arborização	293	10. Anexos
115	5.3.1. Síntese 1 Potencial de arborização: ruas arborizáveis e não arborizáveis	293	10.1. Lista de espécies e cultivares, existentes nas ruas do Porto, consideradas como inadequadas para árvore de arruamento
118	5.3.2. Síntese 2 Relação do potencial de arborização com a arborização existente		
119	5.3.3. Síntese 3 Espécies e cultivares mais e menos adequados		

Índice de figuras

- 21 **Figura 1**
A) Praça da Liberdade e Rua dos Clérigos na segunda metade do século XIX, de Emílio Biel; e B) Praça da Batalha, em 1962 (s.a.) (fonte: Arquivo Histórico da Câmara Municipal do Porto)
- 30 **Figura 2**
Impactes do uso do solo no sistema climático
- 32 **Figura 3**
Os benefícios da arborização urbana
- 34 **Figura 4**
Representação conceptual da árvore (adaptada de Farinha-Marques, 2023)
- 35 **Figura 5**
À esquerda, representação equívoca do sistema radicular de uma árvore; à direita, representação mais precisa do sistema radicular de uma árvore (adaptado de Dobson, 1995)
- 38/39 **Figura 6**
Dinâmica ecológica e paisagística da arborização de arruamento – o ecossistema da rua
- 43 **Figura 7**
Representação esquemática da árvore mínima de arruamento
- 45 **Figura 8**
Ilustração da hipótese da rua mínima arborizável, mostrando as dimensões aproximadas da largura mínima dos elementos fundamentais de uma rua arborizada
- 47 **Figura 9**
Metodologia de trabalho
- 48 **Figura 10**
Ruas do Porto (objeto de estudo inicial).
- 50 **Figura 11**
Classes de largura expectável de copa de árvore, ao fim de 20–30 anos
- 51 **Figura 12**
Exemplos de: a) árvore de copa estreita, freixo de copa estreita (*Fraxinus sylvatica* 'Dawyck Gold'); b) árvore de copa média-larga, mélia (*Melia azedarach*) c) árvore de copa muito larga, plátano (*Platanus x acerifolia*)
- 62 **Figura 13**
Representação esquemática dos diferentes tipos de alinhamentos em relação ao seu posicionamento na rua
- 64 **Figura 14**
Representação esquemática de características dos alinhamentos
- 65 **Figura 15**
Representação esquemática de uma rua muito estreita
- 67 **Figura 16**
Representação esquemática de ruas das seguintes classes de largura: a) estreita; b) média; c) larga; e d) muito larga
- 69 **Figura 17**
Mapa das ruas classificadas de acordo com a sua largura
- 70/71 **Figura 18**
Exemplos de ruas muito estreitas: a) Rua do Almada, b) Rua do Bonjardim; e ruas estreitas: c) Rua de Fez, d) Rua de Passos Manuel
- 71 **Figura 19**
Exemplos de ruas médias: a) Rua de Sá da Bandeira, b) Rua de Faria Guimarães, c) Rua Dr. Corino de Andrade
- 72 **Figura 20**
Exemplos de ruas largas: a) Rua do Marechal Saldanha, b) Avenida de Rodrigues de Freitas, c) Rua de Pinto Bessa
- 73 **Figura 21**
Exemplos de ruas muito largas: a) Rua de Damião de Góis, b) Avenida da Boavista
- 74 **Figura 22**
Mapa de presença de arborização de arruamento
- 75 **Figura 23**
Exemplo de: a) rua arborizada: Rua de Guerra Junqueiro, e b) rua não arborizada: Rua do Bolhão
- 75 **Figura 24**
Proporção de ruas arborizadas e ruas não arborizadas em cada classe de largura de rua
- 76 **Figura 25**
Exemplos de: a) rua muito estreita arborizada, Rua de Manuel Bandeira; b) rua muito estreita arborizada, Rua de Santa Maria, c) rua larga arborizada, Alameda de 25 de Abril, d) rua estreita arborizada, Avenida Flor da Rosa, e) rua média arborizada, Rua de Sá da Bandeira, f) rua muito larga arborizada, Rua de Gonçalo Cristóvão
- 77 **Figura 26**
Gráfico da população de árvores de arruamento distribuída por género
- 77 **Figura 27**
Quantificação das espécies de arruamento dominantes em cada troço de rua

- 78 **Figura 28**
Exemplos de espécies de arruamento relevantes na cidade: a) *Celtis australis*, Rua do Dr. José de Figueiredo; b) *Prunus cerasifera* var. *atropurpureum*, Rua de Soares de Passos; c) *Acer pseudoplatanus*, Alameda de 25 de Abril; d) *Platanus x acerifolia*, Rua de Camões; e) *Liquidambar styraciflua*, Rua de Faria Guimarães
- 79 **Figura 29**
Mapa das espécies dominantes em cada rua
- 79 **Figura 30**
Mapa de ruas arborizadas classificadas pela largura expectável da copa da espécie dominante
- 81 **Figura 31**
Proporção de ruas arborizadas classificadas de acordo com a sua largura e a largura expectável da copa da espécie dominante
- 82 **Figura 32**
Mapa das ruas arborizadas classificadas segundo a sazonalidade da espécie dominante
- 82 **Figura 33**
Mapa das ruas arborizadas classificadas segundo a origem da espécie dominante
- 83 **Figura 34**
Mapa das ruas arborizadas classificadas segundo o estatuto da espécie dominante
- 84 **Figura 35**
Mapa das ruas arborizadas segundo o tipo de alinhamento da arborização
- 85 **Figura 36**
Exemplos de ruas com: a) alinhamento unilateral: Rua do Barão de Nova Sintra, arborizada com *Grevillea robusta*; b) alinhamento bilateral: Rua Dr. Corino de Andrade, arborizada com *Tilia x europaea*; c) alinhamento central: Avenida de Camilo, arborizada com *Acer negundo*; e d) alinhamento múltiplo: Avenida da Boavista, arborizada com *Ceiba speciosa*, *Platanus x acerifolia* e *Pinus pinea*
- 86 **Figura 37**
Enquadramento geográfico do concelho do Porto
- 87 **Figura 38**
Conforto bioclimático no Porto estimado a partir da PET (“*Physiologically Equivalent Temperature*”) mensal no Porto entre 2002–2016. Adaptado de CMP (2018)
- 88 **Figura 39**
Morfologia e hidrografia portuense. Adaptado de CMP (2018)
- 89 **Figura 40**
Anomalias térmicas muito prováveis no Verão. Adaptado de CMP (2018a)
- 90 **Figura 41**
Anomalias térmicas muito prováveis no Inverno. Adaptado de CMP (2018a)
- 91 **Figura 42**
Aspect *Ratios* mais frequentes no Porto. Adaptado de Valença (2020)
- 92 **Figura 43**
Sky view factor nos eixos viários municipais portuenses (sem cobertura vegetal)
- 92 **Figura 44**
Relação entre orientação das ruas, “aspect ratio” e exposição solar. Adaptado de Valença (2021)
- 93 **Figura 45**
Distribuição dos eixos viários municipais do Porto de acordo com as diferentes classes de “Sky View Factor” (%)
- 94/95 **Figura 46**
Padrão de exposição solar ao longo do ano numa rua de orientação e Este-Oeste (à esquerda) e Norte-Sul (à direita) no Porto. Adaptado de Valença (2021)
- 96 **Figura 47**
Radiação solar nos eixos viários do Porto no momento dos solstícios e dos equinócios
- 97 **Figura 48**
Número de horas de sol nas ruas nos solstícios e equinócios
- 99 **Figura 49**
Mapeamento dos benefícios potenciais da arborização viária para o conforto térmico outdoor
- 102 **Figura 50**
Probabilidade de ocorrência de aceleração e travagem dos fluxos de ar: a) no verão; b) no inverno. Adaptado de CMP (2018a)
- 104 **Figura 51**
Quedas de árvores no Porto entre 2015 e 2021
- 106 **Figura 52**
Probabilidade de ocorrência de degradação da qualidade do ar. Adaptado de CMP (2018)
- 109 **Figura 53**
Coeficiente de escoamento. Adaptado de CMP (2018a)
- 109 **Figura 54**
Ocorrência de inundações entre 1974 e 2014. Adaptado de CMP (2018a)

- 110 **Figura 55**
Área impermeabilizada (%) por subsecção.
Adaptado de CMP (2018)
- 111 **Figura 56**
Impacte das árvores no escoamento superficial
- 113 **Figura 57**
Exemplos de ruas associadas a espaços parcelares: a) Avenida de Vasco da Gama, onde a arborização do espaço parcelar participa na rua; b) Rua do Dr. Aarão de Lacerda, cuja arborização influencia e é influenciada pelo espaço parcelar adjacente.
- 114 **Figura 58**
Mapa das ruas associadas a espaços parcelares, que não são consideradas na fase de diagnóstico
- 115 **Figura 59**
Mapa das ruas com arborização associada a desenho urbano de caráter histórico ou referencial
- 116 **Figura 60**
Mapa das ruas arborizáveis e não arborizáveis, de acordo com as variáveis espaciais
- 117 **Figura 61**
Mapa das ruas arborizáveis, integrando ruas atualmente arborizadas e ruas atualmente não arborizadas
- 120 **Figura 62**
Espécies de altura potencial não adequada para arruamento: a) *Ligustrum japonicum*, na Rua 5 de Outubro e b) *Cercis siliquastrum* na Rua Rui Faleiro
- 121 **Figura 63**
Exemplo de ruas adequadamente e inadequadamente arborizadas: a) Rua de António Carneiro, rua estreita inadequadamente com árvore de copa larga (*Platanus x acerifolia*); b) Avenida do Dr. Antunes de Guimarães, rua média adequadamente arborizada com árvore de copa média (*Melia azedarach*)
- 122 **Figura 64**
Exemplos de ruas arborizadas com espécie perenifólia: a) Rua 5 de Outubro, arborizada com *Ligustrum* sp., que causa ensombramento constante; b) Travessa da Prelada, arborizada, do lado direito, com *Cupressus sempervirens*, que não causa ensombramento de fachadas
- 123 **Figura 65**
Exemplo de uma rua arborizada com: a) uma espécie autóctone (*Fraxinus angustifolia* na Rua Dr. Roberto Frias); e b) uma espécie com estatuto de invasora (*Acer negundo* na Rua do Campo Alegre)
- 124 **Figura 66**
Exemplos em que as raízes da árvore e o pavimento entram em conflito e se verifica levantamento do pavimento: a) *Cercis siliquastrum* na Rua Engenheiro Carlos Amarante e b) *Sophora japonica* na Rua de Barbosa du Bocage
- 128 **Figura 67**
Rede de ruas arborizáveis da cidade do Porto
- 129 **Figura 68**
Rede prioritária de arborização, organizada por níveis de prioridade
- 130 **Figura 69**
Mapa das ruas arborizáveis, de acordo com os critérios de dimensão do espaço
- 132 **Figura 70**
Modelos de Arborização organizados pela classe de largura de rua a que se aplicam
- 133 **Figura 71**
Representação geral de um modelo de arborização, salientando os principais componentes e suas dimensões
- 135 **Figura 72**
Representação do modelo 1, em corte e em planta
- 137 **Figura 73**
Exemplo de aplicação do modelo 1 numa rua com 10,40m, com uma via de trânsito e arborização em faixa contínua alternada com espaço de estadia
- 138 **Figura 74**
Exemplo de aplicação do modelo 1 numa rua com 12,90m, com duas vias de trânsito e arborização em caldeira alternada com estacionamento
- 139 **Figura 75**
Exemplo de aplicação do modelo 1 numa rua com 12,90m, com alinhamento unilateral alternado de árvores de copa estreita, do tipo ginkgo de copa estreita (*Ginkgo biloba* 'Barabits Fastigiata'), faixa de copa estreita (*Fagus sylvatica* 'Dawyck Gold') ou tramazeira de copa estreita (*Sorbus aucuparia* 'Sheerwater Seedling')
- 140 **Figura 76**
Representação do modelo 2, em corte e em planta
- 142 **Figura 77**
Representação do modelo 3, em corte e em planta
- 144 **Figura 78**
Representação do modelo 4, em corte e em planta

- 146 **Figura 79**
Exemplo de aplicação do modelo 4 numa rua com 17,20m, com duas vias de trânsito e arborização em caldeira
- 147 **Figura 80**
Exemplo de aplicação do modelo 4 numa rua com 17,20m, com duas vias de trânsito e arborização em faixa contínua alternada com estacionamento
- 148 **Figura 81**
Rua média (17,20m) com alinhamento bilateral de árvore de copa média-estreita, do tipo carvalho-alvarinho de copa estreita (*Quercus robur* 'Fastigiata'), liquidâmbar de copa estreita (*Liquidambar styraciflua* 'Fastigiata') ou castanheiro-da-Índia de copa estreita (*Aesculus hippocastanum* 'Fastigiata')
- 149 **Figura 82**
Representação do modelo 5, em corte e em planta
- 151 **Figura 83**
Representação do modelo 6, em corte e em planta
- 153 **Figura 84**
Representação do modelo 7, em corte e em planta
- 155 **Figura 85**
Representação do modelo 8, em corte e em planta
- 157 **Figura 86**
Exemplo de aplicação do modelo 7 numa rua com 22,10m, com duas vias de trânsito, uma ciclovia e três espaços pedonais (nas laterais e ao centro da rua)
- 158 **Figura 87**
Exemplo de aplicação do modelo 7 numa rua com 22,10m com duas vias de trânsito e uma faixa permeável contínua com um sistema de drenagem sustentável, ao centro da rua
- 159 **Figura 88**
Rua larga (22,10m) com alinhamento central duplo de árvores de copa média-larga, do tipo cerejeira-brava (*Prunus avium*), amieiro (*Alnus glutinosa*) ou bétula (*Betula pubescens* ssp. *celtibérica*)
- 160 **Figura 89**
Representação do modelo 9, em corte e em planta
- 162 **Figura 90**
Representação do modelo 10, em corte e em planta
- 164 **Figura 91**
Representação do modelo 11, em corte e em planta
- 166 **Figura 92**
Representação do modelo 12, em corte e em planta
- 168 **Figura 93**
Representação do modelo 13, em corte e em planta
- 170 **Figura 94**
Representação do modelo 14, em corte e em planta
- 172 **Figura 95**
Representação do modelo 15, em corte e em planta
- 174 **Figura 96**
Representação do modelo 16, em corte e em planta
- 176 **Figura 97**
Representação do modelo 17, em corte e em planta
- 178 **Figura 98**
Representação do modelo 18, em corte e em planta
- 180 **Figura 99**
Exemplo de aplicação do modelo 9 numa rua com 32,20m, com duas vias de trânsito automóvel, vias dedicadas a transporte público e arborização ao centro da rua em faixa contínua
- 181 **Figura 100**
Exemplo de aplicação do modelo 10 numa rua com 32,20m, com duas vias de trânsito automóvel, uma via dedicada a transporte público, duas ciclovias e arborização bilateral em faixa contínua
- 182 **Figura 101**
Exemplo de aplicação do modelo 13 numa rua com 32,20m, com duas vias de trânsito automóvel, duas vias dedicadas a transporte público, duas ciclovias e arborização em faixa contínua
- 183 **Figura 102**
Rua muito larga (32,20m) com alinhamento múltiplo: alinhamento central de árvore de copa larga, do tipo tília (*Tilia platyphyllos* 'Fastigiata'), carvalho (*Quercus coccinea*) ou freixo (*Fraxinus angustifolia*), e alinhamentos laterais de árvore de copa média-larga, do tipo tulipeiro (*Liriodendron tulipifera* 'Fastigiatum'), bétula (*Betula pubescens* ssp. *celtibérica*) ou ginkgo (*Ginkgo biloba*)

- 186 **Figura 103**
Representação dos modelos de exceção A, B, C, D, E e F em planta
- 187 **Figura 104**
Exemplo de aplicação do modelo B numa rua com 12,90m, com duas vias de trânsito e alinhamento unilateral de árvores alternadas com estacionamento
- 191 **Figura 105**
Localização dos troços de rua selecionados para protótipos de intervenção
- 194 **Figura 106**
Potencial contributo da arborização das ruas-protótipo para o conforto outdoor. As ruas-protótipo estão numeradas conforme a seguinte correspondência: (1) Rua do Heroísmo, (2) Rua de Camões, (3) Rua Duque Saldanha, (4) Rua da Constituição, (5) Rua de Serpa Pinto, (6) Rua de Cinco de Outubro, (7) Avenida de Rodrigues de Freitas, (8) Rua de Pinto Bessa, (9) Rua de Gondarém, (10) Rua de Damião de Góis
- 195 **Figura 107**
Esquema síntese dos princípios orientadores, opções metodológicas e organização do trabalho
- 202 **Figura 108**
Sky View Factor nas ruas-protótipo
- 203 **Figura 109**
Radiação solar no Solstício de Verão nas ruas-protótipo
- 204 **Figura 110**
Radiação solar no Solstício de Inverno nas ruas-protótipo
- 205 **Figura 111**
Radiação solar nos Equinócios de Primavera e Outono nas ruas-protótipo
- 206 **Figura 112**
Número de horas de sol no Solstício de Verão nas ruas-protótipo
- 207 **Figura 113**
Número de horas de sol no Solstício de Inverno nas ruas-protótipo
- 208 **Figura 114**
Número de horas de sol nos Equinócios de Primavera e Outono nas ruas-protótipo
- 209 **Figura 115**
Anomalias térmicas muito prováveis no Verão nas ruas-protótipo. Adaptado de CMP (2018a)
- 210 **Figura 116**
Anomalias térmicas muito prováveis no Inverno nas ruas-protótipo. Adaptado de CMP (2018a)
- 211 **Figura 117**
Potencial de ventilação no Verão nas ruas-protótipo
- 212 **Figura 118**
Potencial de ventilação no Inverno nas ruas-protótipo
- 213 **Figura 119**
Benefícios potenciais da arborização nas 10 ruas-protótipo
- 215 **Figura 120**
Resultados das medições itinerantes de temperatura nas 10 ruas-protótipo
- 215 **Figura 121**
Desvios médios da temperatura registada nas medições itinerantes
- 216 **Figura 122**
Medições de temperatura itinerantes ao longo das 10 ruas-protótipo
- 217 **Figura 123**
Desvio da média de temperatura registada nas medições itinerantes de temperatura
- 219 **Figura 124**
Análise individual dos potenciais bioclimáticos da arborização na Rua do Heroísmo
- 221 **Figura 125**
Análise individual dos potenciais bioclimáticos da arborização na Rua de Camões
- 223 **Figura 126**
Análise individual dos potenciais bioclimáticos da arborização na Avenida de Rodrigues de Freitas
- 225 **Figura 127**
Análise individual dos potenciais bioclimáticos da arborização na Rua de Pinto Bessa
- 227 **Figura 128**
Análise individual dos potenciais bioclimáticos da arborização na Rua de Gondarém
- 229 **Figura 129**
Análise individual dos potenciais bioclimáticos da arborização na Rua de Damião de Góis
- 232 **Figura 130**
Representação esquemática da metodologia de intervenção

- 236/237 **Figura 131**
Representação das propostas desenvolvidas para as 10 ruas-protótipo
- 239 **Figura 132**
Ilustração comparativa para a Rua do Heroísmo: a) situação existente; b) proposta de intervenção
- 240 **Figura 133**
Vista planimétrica da situação existente da Rua do Heroísmo
- 241 **Figura 134**
Vista planimétrica da proposta para a Rua do Heroísmo
- 242 **Figura 135**
Corte da proposta para a Rua do Heroísmo
- 243 **Figura 136**
Visualizações da proposta para a Rua do Heroísmo
- 245 **Figura 137**
Ilustração comparativa para a Rua de Camões: a) situação existente; b) da proposta de intervenção
- 246 **Figura 138**
Vista planimétrica da situação existente da Rua de Camões
- 247 **Figura 139**
Vista planimétrica da versão 1 da proposta para a Rua de Camões, com maior área permeável
- 248 **Figura 140**
Corte da proposta para a Rua do Camões
- 249 **Figura 141**
Visualizações da proposta para a Rua de Camões
- 251 **Figura 142**
Ilustração comparativa para a Avenida de Rodrigues de Freitas: a) situação existente; b) proposta de intervenção (versão com alinhamento central).
- 252 **Figura 143**
Vista planimétrica da situação existente da Avenida de Rodrigues de Freitas
- 253 **Figura 144**
Vista planimétrica da proposta de alinhamento central para a Avenida de Rodrigues de Freitas
- 254 **Figura 145**
Corte da proposta de alinhamento central para a Avenida de Rodrigues de Freitas
- 255 **Figura 146**
Visualizações da proposta de alinhamento central para a Avenida de Rodrigues de Freitas
- 256 **Figura 147**
Vista planimétrica da proposta de alinhamento bilateral para a Avenida de Rodrigues de Freitas
- 257 **Figura 148**
Corte da proposta de alinhamento bilateral para a Avenida de Rodrigues de Freitas
- 258 **Figura 149**
Visualizações da proposta de alinhamento bilateral para a Avenida de Rodrigues de Freitas
- 260 **Figura 150**
Ilustração comparativa para a Rua de Pinto Bessa: a) situação existente; b) proposta de intervenção (versão com alinhamento central)
- 261 **Figura 151**
Vista planimétrica da situação existente da Rua de Pinto Bessa
- 262 **Figura 152**
Vista planimétrica da proposta de alinhamento central para a Rua de Pinto Bessa
- 263 **Figura 153**
Corte da proposta de alinhamento central para a Rua de Pinto Bessa
- 264 **Figura 154**
Visualizações da proposta de alinhamento central para a Rua de Pinto Bessa
- 265 **Figura 155**
Vista planimétrica da proposta de alinhamento bilateral para a Rua de Pinto Bessa
- 266 **Figura 156**
Corte da proposta de alinhamento bilateral para a Avenida de Rodrigues de Freitas
- 267 **Figura 157**
Visualizações da proposta de alinhamento bilateral para a Avenida de Rodrigues de Freitas
- 269 **Figura 158**
Ilustração comparativa para a Rua de Gondarém: a) situação existente; b) proposta de intervenção (versão final)
- 270 **Figura 159**
Vista planimétrica da situação existente da Rua de Gondarém
- 271 **Figura 160**
Vista planimétrica da proposta para a Rua de Gondarém (versão final)
- 272 **Figura 161**
Vista planimétrica das propostas de intervenção para a Rua de Gondarém (versões iniciais 1 e 2 e versão final)

- 273 **Figura 162**
Corte da proposta final para a Rua de Gondarém
- 274 **Figura 163**
Visualizações da proposta final para a Rua de Gondarém
- 276 **Figura 164**
Ilustração comparativa para a Rua de Damião de Góis: a) situação existente; b) proposta de intervenção
- 277 **Figura 165**
Vista planimétrica da situação existente da Rua de Damião de Góis
- 276 **Figura 166**
Vista planimétrica da proposta para a rua de Damião de Góis
- 280/281 **Figura 167**
Corte da proposta para a Rua de Damião de Góis
- 282 **Figura 168**
Visualizações da proposta para a Rua de Damião de Góis

Índice de tabelas

- 26-27 **Tabela 1**
Síntese dos documentos analisados sobre estratégias de arborização
- 53 **Tabela 2**
Exemplos de árvores de copa estreita (copa inferior a 4m)
- 55 **Tabela 3**
Exemplos de árvores de copa média-estreita (copa igual ou superior a 4m e inferior a 6m)
- 57 **Tabela 4**
Exemplos de árvores de copa média-larga (copa igual ou superior a 6m e inferior a 8m)
- 59 **Tabela 5**
Exemplos de árvores de copa larga (copa igual ou superior a 8m e inferior a 12m)
- 61 **Tabela 6**
Exemplos de árvores de copa muito larga (copa igual ou superior a 12m)
- 119 **Tabela 7**
Síntese da adequação da arborização tendo em conta a combinação da largura da copa, tipo de alinhamento e largura da rua
- 131 **Tabela 8**
Apresentação dos modelos de arborização, organizados de acordo com a largura de rua recomendada para a sua aplicação. Nota: a cor realçada remete à situação otimizada correspondente aos modelos de arborização desenvolvidos; a cor esbatida representa uma situação possível, mas não otimizada de acordo com os modelos desenvolvidos
- 136 **Tabela 9**
Especificações do modelo 1
- 141 **Tabela 10**
Especificações do modelo 2
- 143 **Tabela 11**
Especificações do modelo 3
- 145 **Tabela 12**
Especificações do modelo 4
- 150 **Tabela 13**
Especificações do modelo 5
- 152 **Tabela 14**
Especificações do modelo 6
- 154 **Tabela 15**
Especificações do modelo 7
- 156 **Tabela 16**
Especificações do modelo 8
- 161 **Tabela 17**
Especificações do modelo 9
- 163 **Tabela 18**
Especificações do modelo 10
- 165 **Tabela 19**
Especificações do modelo 12
- 167 **Tabela 20**
Especificações do modelo 13
- 169 **Tabela 21**
Especificações do modelo 14
- 171 **Tabela 22**
Especificações do modelo 15
- 173 **Tabela 23**
Especificações do modelo 16
- 175 **Tabela 24**
Especificações do modelo 17
- 177 **Tabela 25**
Especificações do modelo 18
- 179 **Tabela 26**
Especificações dos modelos de exceção A, B, C e D (Figura 103)
- 185 **Tabela 27**
Síntese de alguns critérios de seleção dos protótipos de intervenção (Rua do Heroísmo, Rua de Camões, Rua do Duque de Saldanha, Rua da Constituição e Rua de Serpa Pinto)
- 192/193 **Tabela 28/29**
Síntese de alguns critérios de seleção dos protótipos de intervenção (Rua de Cinco de Outubro, Avenida de Rodrigues de Freitas, Rua de Pinto Bessa, Rua de Gondarém e Rua de Damião de Góis)
- 233 **Tabela 30**
Objetivos gerais do Programa de todas as ruas-protótipo

1. Introdução geral

O Município do Porto contratou os serviços especializados do Centro de Investigação e Recurso Genéticos (CIBIO) para realizar uma reflexão propositiva sobre a arborização de ruas, avenidas e outros espaços canal da cidade do Porto — que acabou por corporizar o Plano Municipal de Arborização da Cidade do Porto. Este trabalho foi desenvolvido entre 2021 e 2023 e ocorreu em três fases:

- Fase 1: Caracterização e diagnóstico da situação existente;
- Fase 2: Plano;
- Fase 3: Protótipos de intervenção – ruas, espaços e espécies.

Em cada fase de trabalho foi produzido um relatório que foi entregue ao município do Porto para apreciação pelos técnicos, sendo que todos os relatórios se encontram publicados *online* na página do município e no Repositório Aberto da Universidade do Porto. A presente publicação procura reunir os principais conceitos produzidos pela equipa técnica, num único documento de forma a facilitar a consulta.

A primeira fase do trabalho consistiu na caracterização e diagnóstico da situação existente ao nível da arborização das ruas da cidade do Porto. Nesta fase procurou-se: conhecer a **situação existente** da arborização das ruas na cidade do Porto; identificar principais oportunidades e constrangimentos em relação à arborização das ruas; e relacionar e discutir a arborização das ruas de acordo com as suas dimensões, fluxos, funções mínimas essenciais e condições microclimáticas. Face a estes objetivos, surgiram as seguintes questões, em que as repostas se revelaram orientadoras de todo o trabalho:

- Qual a principal função de uma rua?
- Qual é o espaço fundamental de uma rua?
- Qual a dimensão mínima de uma árvore de arruamento que cumpra estruturalmente funções ambientais, sociais e estéticas?
- Qual a dimensão mínima de uma rua que permita a existência de árvores de arruamento e garanta funções de circulação vitais /fundamentais?

Na segunda fase do trabalho procurou-se fornecer orientações de modo a produzir um **plano de arborização** para os próximos 30 anos que, para esse intervalo de tempo, otimize a presença de árvores no espaço público das ruas, em boa articulação com as funções e atividades que aí preferencialmente ocorrem. Assim, nesta segunda fase, pretendeu-se: potenciar a situação existente para qualificar a arborização das ruas da cidade do Porto e conceber **modelos de arborização** de arruamento que respondam às necessidades encontradas.

Na terceira fase do trabalho procurou-se demonstrar a aplicação dos princípios e modelos de arborização em casos concretos da cidade do Porto. Este trabalho culmina na produção de propostas de arborização para classes de ruas arborizáveis, em que se pretende: demonstrar a aplicabilidade e flexibilidade dos modelos de arborização; explicar a seleção do modelo mais adequado para cada um dos diferentes casos; e demonstrar como os modelos se aplicam à especificidade das ruas em projeto, articulando e explorando oportunidades e constrangimentos existentes na realidade. Para isso foram selecionados 10 casos de estudo, também denominados de **ruas-protótipo**.

2. A arborização das ruas das cidades

2.1. Enquadramento histórico

Como é que a árvore surgiu no espaço público? Na cultura ocidental, existe uma referência notável a percursos arborizados associados à academia de Atenas, em que as “aulas” eram dadas em movimento sob a sombra de árvores, provavelmente plátanos-orientais (Jellicoe & Jellicoe, 1995; Soccio, 2015; Hobhouse, 2020). Os primeiros registos de árvores em espaços públicos remontam à antiguidade grega e romana, sendo especialmente associadas a templos e outros locais importantes. Contudo, a destruição dos templos pagãos após a queda do império romano, parece ter conduzido também ao desaparecimento da arborização do espaço público das cidades europeias ocidentais (Lawrence, 2006).

A primeira plantação sistematizada de árvores no espaço público das cidades ocidentais usa um conceito dos jardins, designado por *álea*, que constitui um duplo alinhamento de árvores (Lawrence, 2006). A arborização das ruas das cidades teve motivações de natureza política, recreativa, estética e de salubridade. Ao longo da história e em vários locais das civilizações ocidentais, surgem diversos tipos de espaços lineares (vias) enriquecidos com alinhamentos de árvores, podendo estar relacionados com vistas panorâmicas ou conjuntos paisagísticos de especial interesse como rios, mar, lagos, jardins ou parques.

As plantações de alinhamentos de árvores em espaço público passam a ser registadas no final do século XVI, sobretudo com os exemplos de Itália, Flandres, e Península Ibérica. Referências a estas realizações são atribuídas às cidades de Lucca e Antuérpia que iniciam a tendência de instalar percursos arborizados em espaços adjacentes às muralhas das cidades. Já em Sevilha, em 1583, é referida a existência de percursos arborizados sobre a designação de *paseo con alamos* ou *alameda*, um passeio público com alinhamentos de choupos (*Populus* sp.; Girouard, 1985). Em 1611, na cidade do Porto, Filipe II ordenou a plantação da Alameda do Olival, situada entre a Cordoaria e o Mercado do Anjo, corporizando também aqui o conceito de *passeio público*; esta era constituída por alinhamentos de negrilhos (*Ulmus* sp.) sob os quais havia bancos de pedra lavrada (Andresen & Marques, 2001).

Estas intervenções começam a ganhar corpo e sofisticação, constituindo espaços próprios, como o exemplo do *Cours la Reine*, intervenção parisiense de 1616, onde percursos retilíneos formados por alinhamentos de ulmeiros (*Ulmus* sp.) se manifestam, com cerca de 1500 metros de extensão (Girouard, 1985; Forrest e Konijnendijk, 2005; Lawrence, 2006). Mais tarde, no final do século XVII, ocorre a criação de outro percurso arborizado no âmbito da modernização da muralha nordeste de Paris, junto à *Porte Saint Antoine*, designado por *Cours Saint Antoine*, constituindo um dos maiores de França. Este percurso continua a inspiração de Lucca e Antuérpia, que liga estes espaços às muralhas, relacionando-os com um tipo de estrutura defensiva, designada *boulevard*. Mais tarde, este termo terá evoluído para *boulevard*, afastando-se da sua origem militar e passando a ser globalmente utilizado para referir via urbana larga e arborizada, na maior parte das cidades do mundo. Os *boulevards* passam a constituir um dos elementos mais significativos da renovação urbana de Paris feita por Georges-Eugène Haussmann e Jean-Charles Alphand, a partir da segunda metade do século XIX (Girouard, 1985). Os novos *boulevards* de Paris constituem ruas de grandes dimensões e com grande regularidade altimétrica e

planimétrica; são orlados por alinhamentos de árvores, inspirados nos traçados de André Le Nôtre para os jardins de Versailles e de Tulherias (Benevolo, 1978; Jellicoe & Jellicoe, 1995). Este modelo de cidade vem a ter uma influência muito significativa em todo o mundo.

Noutras cidades europeias também se verifica esta tendência de usar os espaços associados a muralhas para a instalação de vias arborizadas, como é o caso de Barcelona, com *Las Ramblas*, arborizadas a partir de 1704 (Ajuntament de Barcelona, 2009), e de Viena com o seu *Ringstrasse*, na segunda metade do século XIX (Girouard, 1985).

Como já referido anteriormente, na cidade do Porto, a conceção de espaços para o passeio público remonta ao início do século XVII, quando Filipe II determinou a plantação da Alameda do Olival. Posteriormente foram concebidas novas alamedas, em locais estrategicamente escolhidos sob o ponto de vista cénico, onde eram plantados alinhamentos de árvores com bancos e geralmente vedadas com muros e gradeamentos. Em 1874, são referidos por Pinho Leal nove espaços com estas características, nomeadamente as Alamedas: do Olival (na Cordoaria), das Virtudes (Passeio das Virtudes), da Vitória, da Lapa, da Aguardente, do Bonfim, do Prado Repouso, das Fontainhas (Passeio das Fontainhas) e de Massarelos (Andresen & Marques, 2001). Atualmente podemos ainda observar o Passeio das Virtudes ou das Fontainhas onde o carácter do local foi menos alterado.

A arborização das ruas ganhou maior importância em finais do século XIX (Pereira de Oliveira, 1973). Em 1892, segundo a Carta topográfica de Telles Ferreira, a árvore era um elemento frequente na pontuação de largos nomeadamente no Largo da Cruz, no Largo da Alfândega, no Largo dos Lóios, no Largo da Lapa e nos Largos de Santo André e da Póvoa, atualmente com topónimos alterados, respetivamente a Praça do Poveiros e a Praça Rainha Dona Amélia. A análise cartográfica permite-nos observar que já nessa altura havia ruas com alinhamentos de árvores que se mantiveram até aos dias de hoje, independentemente de terem sido alvo de intervenções ao longo dos tempos. Como exemplos mais relevantes temos a Rua da Restauração, a Rua de Monchique/Rua Nova da Alfândega, a Avenida da França (no troço existente junto à Praça Mouzinho de Albuquerque), Rua do Duque do Porto (atual Rua João das Regras), a Rua de Camões entre a Ordem da Trindade e a Rua Gonçalo Cristóvão que também era arborizada entre a Praça da República e a Rua do Bonjardim, e entre o local onde se pode encontrar o Silo Auto e a Rua de Santa Catarina (à data Rua Nova da Princesa). Nesta altura também as ruas dos Clérigos (Figura 1), da Estação e a Rua Nova de Paranhos – que continuava como Estrada de Vila do Conde e que atualmente se designam como Rua do Carvalhido e Montes dos Burgos – eram ornamentadas com alinhamentos de árvores.

Figura 1



Praça da Liberdade e Rua dos Clérigos na segunda metade do século XIX, de Emílio Biel



Praça da Batalha, em 1962 (s.a.) (fonte: Arquivo Histórico da Câmara Municipal do Porto)

No caso da Avenida da Boavista, a mais extensa da cidade, o seu perfil sofreu várias alterações ao longo dos tempos. Em 1892, existia desde a Rua de Santa Isabel até ao cruzamento da Rua de Serralves (hoje Rua de Tânger) com a Estrada da Vilarinha, onde se encontra atualmente a Avenida do Dr Antunes Guimarães. Era arborizada em toda a sua extensão, com exceção do troço que começa na Praça da Boavista (atual Praça Mouzinho de Albuquerque) e que termina entre as ruas de Agramonte e do Mirante Vanzeler (atual Rua João de Deus). Mais tarde, nas fotografias aéreas de 1939 a Avenida está finalizada na

extensão que hoje conhecemos, com novos troços arborizados, nomeadamente desde a Rua de António Bessa Leite até à Rua da Boavista e de Nevogilde (próximo da Rua António Aroso) até à Rua do Pinheiro Manso. Nesta altura o troço entre a Rua do Pinheiro Manso e a rua António Bessa Leite deixa de ser arborizado.

A presença de alinhamentos de árvores aumentava à medida que se construíam novas e mais largas ruas, nomeadamente a oriente, com o desenho das ruas que saem do Largo Soares dos Reis, e a ocidente na Foz Nova (Fernandes, J., 1989). Na cartografia de Telles Ferreira (1892), estas ruas ainda se encontravam inacabadas tendo sido apresentados alguns troços do desenho ainda em fase de projeto. Nesta altura, apenas na Foz Nova, a Rua do Gama (atualmente denominada Rua de Diu) era arborizada. No entanto, em 1939/40, segundo o registo fotográfico aéreo, no Bonfim – as ruas do Conde Ferreira, Ferreira Cardoso e Joaquim António de Aguiar – e na Foz Nova – as ruas Gondarém, Marechal Saldanha, Molhe e Crasto – já tinham árvores de arruamento.

Em meados do século XX começaram a surgir na cidade vários bairros de casas económicas que tinham em comum uma matriz de desenho que contemplava, entre outros elementos, ruas arborizadas e pequenos jardins (Borges Pereira, 2012). As fotografias aéreas de 1939/40 comprovam o aparecimento de novas ruas arborizadas por toda a cidade, não só nas já referidas da Foz Nova e Bonfim, mas também na Boavista – as ruas de Guerra Junqueiro, António Cardoso, Cinco de Outubro e de Agramonte – em Paranhos – as ruas dos Castelos e Serpa Pinto – e em Campanhã – as ruas de Pinto Bessa e Padre António Vieira. Nas ruas com perfis mais largos como as avenidas Marechal Gomes da Costa, dos Combatentes e Camilo, surge um separador central com canteiros arborizados, semelhantes aos de hoje. Comparando a fotografia aérea (1939/40) com a carta de Telles Ferreira (1892) verifica-se que algumas ruas deixam de estar arborizadas, aproximando-se do perfil que apresentam atualmente, por exemplo a Rua da Estação, a Rua dos Clérigos e as Ruas do Carvalhido e Montes dos Burgos.

Mais tarde surgem novos empreendimentos urbanísticos que contemplam arborização em arruamento ou em pequenos jardins. Inicia-se assim na década de 60 o Parque Residencial da Boavista (Foco) e na década de 70 os projetos do Bairro Guerra Junqueiro (Direção dos Serviços de Habitação, 1977) e da Associação de Moradores da Zona dos Combatentes, de 1978, em que é possível observar-se o arranque da Alameda Eça de Queirós arborizada e alguns arruamentos onde entre o estacionamento se previam zonas plantadas (Direção dos Serviços de Obras, 1978).

2.2. Estratégias atuais de arborização

Atualmente, por todo o mundo, têm vindo a ser desenvolvidos estudos e planos que se focam na arborização urbana, procurando conciliá-la com a dinâmica do espaço público, com os novos desafios introduzidos pelas alterações climáticas, e com novas visões para a vida nas cidades.

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foram consultados múltiplos documentos, nacionais e internacionais, datados desde 2009 até 2021, que abordam a arborização em diversas cidades. Os documentos estudados revelam diferentes âmbitos, escalas, objetivos e preocupações sobre as diferentes perspetivas da arborização

urbana, sendo que na sua generalidade pretendem promover a presença da árvore na cidade. A Tabela 1 sintetiza a principal informação recolhida nos documentos analisados.

A maioria dos documentos analisados reflete sobre o conjunto das árvores da cidade (que pode incluir árvores localizadas em domínio público ou privado); este conjunto surge com a denominação de *urban trees* (árvores urbanas) na generalidade dos documentos das cidades europeias abordadas, como por exemplo em Londres e Barcelona (TDAG, 2012; Ajuntament de Barcelona, 2017), sendo por outro lado denominado como *urban forest* (floresta urbana) nas cidades australianas (ASPECT Studios and Tree Logic, 2011; City of Sydney, 2013). No entanto, em vários destes casos, surge a preocupação em abordar a árvore de forma diferenciada, de acordo com a sua localização e contexto na cidade. Por exemplo, no manual “Planting beds in the city of Stockholm” as árvores são classificadas em duas categorias, árvores de arruamento e árvores de parques, especialmente devido às diferentes condições para o desenvolvimento da árvore nestas situações (Embrén et al., 2009). Destaca-se aqui o “Plan Director del Arbolado Viário de la Ciudad de Madrid” (Ayuntamiento de Madrid, 2018), que aborda sobretudo questões relativas à arborização de espaços-canal de domínio público, sendo o que mais se aproxima à abordagem apresentada neste plano para a cidade do Porto.

As árvores localizadas nas cidades providenciam inúmeros benefícios, nomeadamente no sentido do melhoramento do ambiente urbano e da qualidade de vida dos seus residentes; estes benefícios são frequentemente designados como serviços de ecossistema. Neste sentido, tornou-se evidente que, nos diversos documentos analisados, um dos principais objetivos para a disseminação de árvores na cidade gira em torno da promoção destes serviços de ecossistema. De entre estes serviços prestados pelas árvores, destaca-se a regulação bioclimática do ambiente urbano, um assunto cada vez mais pertinente no contexto atual das alterações climáticas. Nesta área temática, destaca-se o plano da Baviera onde a arborização urbana é referida como uma das principais ferramentas no combate e adaptação às alterações climáticas e onde se sugerem diversas intervenções de arborização desde a escala da infraestrutura verde urbana até à escala da rua (Brasche et al., 2020). Na maioria dos documentos apresentados, é frequentemente mencionado o contributo da arborização para a regulação bioclimática do ambiente urbano, especialmente no que diz respeito às temperaturas e ciclos hidrológicos, surgindo associados a recomendações de, por exemplo, aumento das áreas permeáveis (Ville de Lausanne, 2019). Nos documentos estudados, destacam-se também algumas medidas propostas no âmbito da promoção da biodiversidade, dos habitats e da conectividade ecológica, considerando-se particularmente relevante a proposta de indicadores para a monitorização da diversidade de espécies arbóreas, apresentada por várias cidades (TADG, 2012; City of Sydney, 2013; TADG, 2014; Ayuntamiento de Madrid, 2018; Ville de Lausanne, 2019).

A decisão de plantação de árvores nas ruas deve considerar as várias oportunidades e constrangimentos que podem ocorrer na via pública, que podem ditar o seu melhor posicionamento e afetar o seu bom desenvolvimento. De um modo geral, as questões espaciais, nomeadamente a articulação da dimensão da rua com a dimensão da árvore e o seu posicionamento, são tópicos ainda muito pouco abordados. É frequentemente recomendada a manutenção das melhores condições para a árvore, em termos de, por exemplo, condições do solo, preservação das raízes e das copas, mas raramente explicadas do

ponto de vista espacial. Em alguns documentos, nota-se a preocupação de recomendar arborização apenas se houver o espaço necessário para viabilizar a árvore ou de tentar garantir o espaço necessário para que a árvore se possa desenvolver (Embrén et al., 2009; Ville de Lausanne, 2019).

De entre todos os exemplos analisados, apenas o plano de Madrid e o manual de espaço público de Lisboa apresentam uma abordagem explicitamente demonstrada sobre a dimensão da árvore e como esta se pode melhor adequar a espaços de diferentes dimensões, embora ainda bastante simplificada (Ayuntamiento de Madrid, 2018; Câmara Municipal de Lisboa, 2018). Em malhas urbanas consolidadas e com espaço público de dimensões restritas encontram-se vários problemas e obstáculos à presença da árvore. No presente trabalho, parte-se de uma lógica semelhante à apresentada nestes documentos, no sentido de adequar a dimensão da árvore à dimensão do arruamento, tentando otimizar o desempenho da árvore, minimizando os conflitos com os outros elementos e funções da rua, bem como operações de poda para ajustar a árvore ao espaço existente.

Com uma perspetiva diferente, o plano da Baviera sugere também que o posicionamento da arborização na rua deve depender de vários parâmetros bioclimáticos, tendo particularmente em conta a orientação geográfica das ruas e exposição solar das fachadas (Brasche et al., 2020).

A escolha da espécie de árvore deve atender às condições climáticas, edáficas, ecológicas e espaciais de cada rua. Nos diversos documentos consultados, os fatores mais relevantes que condicionam a viabilidade das árvores em contexto de arruamento são: a resistência à seca, ao calor e ao vento, a longevidade, a tolerância às condicionantes existentes na cidade (sombra, poluição, compactação do solo, encharcamento, etc.), a suscetibilidade e facilidade de controlo de pragas e doenças, o potencial alérgico, o tipo de sombra, a manutenção requerida (risco intrínseco de queda de ramos), arquitetura (dimensão, espinhos, tipo de copa), carácter invasor e a libertação de folhas, flores e frutos (ASPECT Studios and Tree Logic, 2011; Ayuntamiento de Madrid, 2018; Câmara Municipal de Lisboa, 2018).

Âmbito territorial	Ano	Título do documento	Objeto de estudo
Estocolmo	2009	<i>Planting beds in the city of Stockholm: a handbook</i> (Canteiros de plantação na cidade de Estocolmo: um manual)	Todas as árvores da cidade (em espaços públicos), em diferentes contextos: <ul style="list-style-type: none"> • Árvores em parques • Árvores de arruamento
Melbourne	2011	<i>Urban forest diversity guidelines – tree species selection strategy for the city of Melbourne</i> (Orientações para a diversidade da floresta urbana – Estratégia de seleção de espécies arbóreas para a cidade de Melbourne)	Todas as árvores da cidade (em espaços públicos e privados), em diferentes contextos: <ul style="list-style-type: none"> • Ruas de comércio e uso misto • Ruas residenciais • Tipos de parques
Londres	2012	<i>Trees in the townscape: a guide for decision makers</i> (Árvores na cidade: um guia para a tomada de decisão)	Todas as árvores da cidade (em espaços públicos e privados)
	2014	<i>Trees in hard landscapes: a guide for delivery</i> (Árvores na paisagem construída: um guia de entrega)	
Sydney	2013	<i>Urban forest strategy</i> (Estratégia para a floresta urbana)	Todas as árvores da cidade (em espaços públicos e privados)
Barcelona	2017	<i>Trees for life: master plan for Barcelona's trees 2017–2037</i> (Árvores para a vida: plano diretor para as árvores de Barcelona 2017–2037)	Todas as árvores da cidade (em espaços públicos)
Lisboa	2017	Regulamento municipal do arvoredo de Lisboa	Todas as árvores da cidade (em espaços públicos)
	2018	Lisboa: o desenho da rua – Manual de espaço público	Espaço público; árvores em espaços públicos
Madrid	2018	<i>Plan director del arbolado viário de la ciudad de Madrid</i> (Plano diretor da arborização viária da cidade de Madrid)	Árvores de arruamento (espaço público)
Lausanne	2019	<i>Stratégie municipale pour le patrimoine arboré et forestier lausannois</i> (Estratégia municipal para o património arbóreo e florestal de Lausanne)	Todas as árvores da cidade (em espaços públicos e privados)
Paris	2021	<i>Service l'arbe à Paris</i> (Serviços de arborização de Paris)	Todas as árvores da cidade (em espaços públicos)
Baviera	2020	<i>Leitfaden für klimaorientierte Kommunen in Bayern – Handlungsempfehlungen aus dem Projekt 'Klimaschutz und grüne Infrastruktur in der Stadt' am Zentrum Stadtnatur und Klimaanpassung</i> (Orientações climáticas para municípios na Baviera – recomendações do projeto 'Proteção climática e infraestrutura verde urbana', centradas na natureza urbana e adaptação climática)	Toda a vegetação (em espaços públicos e privados), em diferentes contextos: <ul style="list-style-type: none"> • Centro histórico • Frente edificada contínua • Urbanização em bloco

Palavras-chave	Elementos apresentados	Referência
<ul style="list-style-type: none"> • Alterações climáticas • Promoção da biodiversidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Recomendações de boas práticas • Pormenores construtivos • Protocolo de arborização 	Embrén et al., 2009
<ul style="list-style-type: none"> • Alterações climáticas • Promoção da biodiversidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Exemplos de arborização de arruamento • Recomendações de boas práticas • Protocolo de arborização • Modelos de arborização • Lista de espécies adequadas para arborização 	ASPECT Studios and Tree Logic, 2011
<ul style="list-style-type: none"> • Alterações climáticas • Promoção da biodiversidade • Relação com a população • Gestão e manutenção da árvore 	<ul style="list-style-type: none"> • Exemplos de arborização de arruamento • Recomendações de boas práticas • Pormenores construtivos • Protocolo de arborização • Lista de espécies adequadas para arborização 	TDAG, 2012
		TDAG, 2014
<ul style="list-style-type: none"> • Promoção da biodiversidade • Gestão e manutenção da árvore 	<ul style="list-style-type: none"> • Recomendações de boas práticas • Protocolo de arborização 	City of Sidney, 2013
<ul style="list-style-type: none"> • Alterações climáticas • Promoção da biodiversidade • Gestão e manutenção da árvore 	<ul style="list-style-type: none"> • Recomendações de boas práticas 	Ajuntament de Barcelona, 2017
<ul style="list-style-type: none"> • Alterações climáticas • Promoção da biodiversidade • Gestão e manutenção da árvore 	<ul style="list-style-type: none"> • Recomendações de boas práticas • Protocolo de arborização • Lista de espécies adequadas para arborização 	Aviso nº 14465/2017
		Câmara Municipal de Lisboa, 2018
<ul style="list-style-type: none"> • Alterações climáticas • Gestão de risco • Promoção da biodiversidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Recomendações de boas práticas • Pormenores construtivos • Modelos de arborização • Lista de espécies adequadas para arborização 	Ayuntamiento de Madrid, 2018
<ul style="list-style-type: none"> • Promoção da biodiversidade • Relação com a população 	<ul style="list-style-type: none"> • Recomendações de boas práticas 	Ville de Lausanne, 2019
<ul style="list-style-type: none"> • Promoção da biodiversidade • Gestão e manutenção da árvore 	<ul style="list-style-type: none"> • Recomendações de boas práticas • Protocolo de arborização 	Ville de Paris, 2021
<ul style="list-style-type: none"> • Alterações climáticas • Promoção da biodiversidade • Eficiência energética 	<ul style="list-style-type: none"> • Recomendações de boas práticas • Modelos de arborização 	Brasche et al. 2020

Tabela 1 – Síntese dos documentos analisados sobre estratégias de arborização

Legislação em vigor

Nas últimas décadas, a arborização urbana tem ganhado alguma relevância em várias cidades portuguesas. A nível nacional já existem instrumentos legais que se relacionam com a arborização em espaço urbano, dos quais se destacam aqueles que se consideram mais relevantes:

O **regime jurídico de arvoredos de interesse público** (lei n.º 53/2012) atualiza o decreto-lei n.º 28:468 de 1938 e identifica árvores e conjuntos com interesse histórico, paisagístico ou artístico e estabelece normas de conservação dos exemplares, quer pelas ações de manutenção, quer pela área de influência. Os critérios analisados para realizar esta classificação são: representatividade, raridade, porte, idade, histórico, significado cultural ou enquadramento paisagístico.

O **regime jurídico aplicável ao controlo, à detenção, à introdução na natureza e ao repovoamento de espécies exóticas** (decreto-lei n.º 92/2019) identifica espécies com caráter invasor e que, por isso, não podem ser plantadas; consideram-se particularmente relevantes no contexto do Porto, as espécies *Acacia* sp., *Acer negundo*, *Pittosporum undulatum*, *Robinia pseudoacacia* e *Solanum mauritanum*.

O **regime jurídico de gestão do arvoredo urbano** (lei n.º 59/2021) é aplicável ao arvoredo urbano pertencente ao domínio público ou privado municipal e ao património arbóreo do Estado. Esta lei “caracteriza e regula as operações de poda, os transplantes e os critérios aplicáveis ao abate e à seleção de espécies a plantar, estabelecendo a sua hierarquização”; define também a “área de proteção radicular mínima” e a “área útil da árvore”, assim como as intervenções que poderão vir a ser realizadas.

A especificação de normas adequadas para a arborização de arruamentos é definida no Código Regulamentar do Porto. Este documento estabelece regras a aplicar aos espaços verdes, nomeadamente na arborização de arruamentos (artigo C-2/23.º) incidindo sobre a dimensão das caldeiras, o compasso de plantação, a proibição de plantação de determinadas espécies em caldeira ou a pavimentação da sua envolvente (CMP, 2020a).

Em 2009, a Direção Municipal de Serviços Urbanos e Ambiente da Câmara Municipal do Porto apresentou o “Programa Municipal de Arborização” para a cidade do Porto, um instrumento de planeamento e desenho do arvoredo urbano (CMP, 2009). Este programa teve como objetivo principal analisar, relacionar e avaliar a informação produzida pelo inventário arbóreo municipal, a fim de identificar oportunidades e constrangimentos na cidade. A abordagem adotada pretendia estabelecer um Programa, promover o planeamento da arborização, definir tipologias de arborização, orientar a seleção de espécies e estabelecer pressupostos normativos (por exemplo, regular o compasso de plantação). O programa refere a importância da adoção de ações de sensibilização e educação ambiental para o sucesso de implementação do mesmo. Salienta ainda a dificuldade de introduzir árvores na “malha já estabilizada”, apontando as novas vias e urbanizações como a solução mais viável (CMP, 2009). Este programa já inicia reflexões sobre questões espaciais, abordando também a adequabilidade da árvore ao espaço disponível e boas práticas para a sua gestão. Não reflete, no entanto, sobre a rua como espaço-canal

total na sua relação com a árvore, nem desenvolve neste âmbito, propostas de intervenção adaptadas aos diversos tipos de ruas.

2.3. Contexto bioclimático

A rua: uma escala de análise

A intervenção humana no suporte biogeofísico tem causado impactes de grande magnitude em todos elementos do ecossistema – flora, fauna, solo, água e ar: no coberto vegetal, substituindo as espécies autóctones por outras mais desejadas, frequentemente por razões estéticas; na fauna, tanto pela exterminação de espécies consideradas repulsivas como pela destruição dos espaços onde se alimentavam, viviam e reproduziam; no solo, reconstruindo o seu perfil vertical para instalar as redes de abastecimento de água, energia e comunicações e impermeabilizando-o para instalar uma panóplia de equipamentos e infraestruturas que acomodam a produção, armazenamento e distribuição de bens e serviços; nos cursos de água, criando barragens, desviando-os do seu leito ou entubando-os, poder aproveitá-los tanto para o abastecimento como para a produção de energia ou até simplesmente para conquistar espaço utilizável para outros fins. Neste processo de reconfiguração do território para usos diversos, os seres humanos reconstruíram os vários mosaicos ecossistémicos locais à medida dos seus sonhos, orientados por modelos internacionais ancorados na convicção da capacidade ilimitada da ciência, da tecnologia e da disponibilidade infinita de recursos naturais e energia barata.

A flora natural foi, dentre todos os elementos do ecossistema, um dos mais delapidados. Neste processo de reestruturação do território para implementar sobretudo os modelos de urbanização tidos, nas últimas décadas, como os preferidos e os mais eficazes para dar resposta às expectativas de bem-estar e qualidade de vida de mais 56% dos 7,9 biliões de pessoas que habitam atualmente espaços urbanizados no planeta (83% na América do Norte, 81% na América Central e Sul, 75% na Europa, 51% na Ásia e 44% em África). Neste processo, a valorização da flora passou a ponderar preferencialmente a estética em detrimento de todos os seus outros atributos designadamente os de regulador térmico, higrométrico e anemométrico, sumidouro de dióxido de carbono e de outros poluentes ou de cenário promotor de saúde física e mental. A sua substituição voraz por espécies florísticas menos conflituosas com a maioria das funções urbanas ocorreu tão rapidamente que não permitiu, na maioria dos casos, compreender os impactes provocados, por exemplo, no sistema climático à escala local, regional, zonal e global.

As consequências desta interpretação recente do tipo de contexto promotor de qualidade de vida e bem-estar para os seres humanos multiplicou-se e contagiou praticamente a todas as latitudes sinalizando um padrão de desenvolvimento exigido por quase todos os seres humanos independentemente da latitude, do clima, da geomorfologia, da hidrologia ou das características sociais, económicas, políticas e culturais.

Este esforço de redesenhar os espaços vividos à imagem dos modelos de sucesso protagonizados por *endorsements* admirados universalmente e divulgados por todo o globo a uma velocidade alucinante impediu, aos seres humanos, o tempo necessário para observar, refletir e perceber as relações de causalidade entre cada uma das suas intervenções e as consequências, por exemplo, no balanço energético, no ciclo hidrológico, na

qualidade do ar ou na saúde física e mental. Esse atropelo dos tempos modernos toldou até a investigação dedicada à inventariação das causas e consequências das manifestações de mudança climática. Note-se que os processos de urbanização foram considerados pela primeira vez como uma das causas mais relevantes para explicar as modificações observadas no sistema climático global apenas no quinto e último relatório publicado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2015). Até então, a importância deste estímulo antrópico local para as manifestações de mudança climática global tinha sido ignorado em todos os relatórios do IPCC.

Dentre os vários elementos modificadores da equação do balanço energético causadores de rearranjos no sistema climático, a diminuição da área e da diversidade dos espaços verdes, típica em todas as áreas urbanizadas, é um fator muito relevante e bastante ilustrativo da severidade dos riscos que podem emergir quando dispensamos uma interpretação sistémica, holística e multiescalar em qualquer decisão sobre o planeta.

As opções de novos usos do solo, a artificialização da superfície terrestre, a proliferação de múltiplas volumetrias, a diversidade de atividades e a multiplicação de novos modos e ritmos de vida, propiciaram o fornecimento de muito mais energia para a baixa atmosfera e a sua captura sob o *canopy layer* (Figura 2). Este *superavit* energético coincidiu com a eliminação de consumidores naturais como são a água, o solo ou a flora. O que provocou condições para a acumulação local, regional, zonal e global de balanços energéticos constantemente positivos e, portanto, diferentes de zero, como seria desejável. A flora, pelo consumo de água, pela evapotranspiração, pela absorção de compostos gasosos pelo efeito de estufa, pelo sombreamento, etc. foi, por exemplo, um dos elementos que ao ser diminuído ou mesmo erradicado, contribuiu substancialmente para a criação de novos mosaicos climáticos.

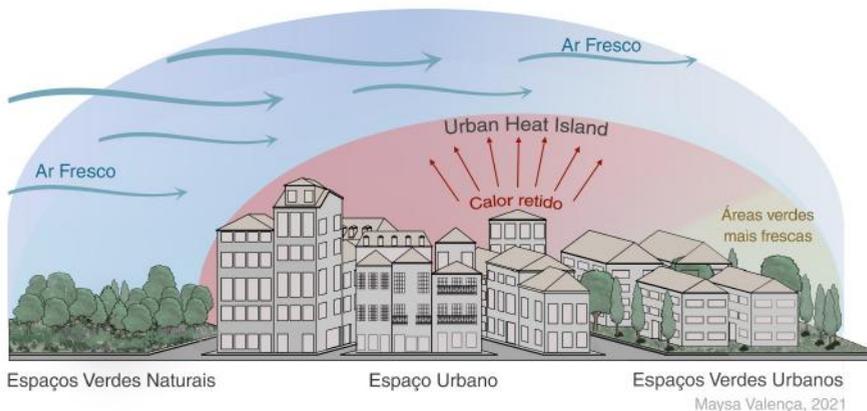


Figura 2 – Impactes do uso do solo no sistema climático

Contudo, as características caóticas do sistema climático não facilitaram, em tempo útil, o diagnóstico. Por outro lado, a opção preferencial por uma análise *top-down* também não ajudou os investigadores a perceberem a grande relevância das aparentemente pequenas alterações do suporte biogeogeofísico implementadas localmente. As experiências, bastante recentes, de incluir também uma perspectiva de avaliação *bottom-up* na

análise dos estímulos que podem explicar o comportamento do sistema climático, ajudou substantivamente a compreensão dos impactes de cada ação antrópica nos níveis de resolução do sistema climático hierarquicamente superiores. E tornou muito mais clara a relação entre a escolha de cada peça do puzzle urbano e o mosaico climático local gerado. Esta leitura *bottom-up* reorientou o foco da análise para a importância dos detalhes no resultado observado. Passou, por isso, a tornar-se mais óbvio que o conhecimento científico e a inovação tecnológica podem e devem privilegiar como objetivo a curto e médio prazo a busca de mais conforto bioclimático à escala local porque é mais simples, eficaz, pedagógica e mobilizadora. A oferta local de soluções geradoras de melhor qualidade de vida e bem-estar é muito mais motivadora de mudanças de atitude e de expectativas de qualidade de vida ao mesmo tempo que contribui para impedir perturbações indesejáveis do sistema climático à escala regional, zonal e global.

Todavia, o diagnóstico dos mosaicos climáticos abaixo do *canopy layer* exige um plano de monitorização complexo que não é alimentado nem pelas fontes de dados tradicionais, nem pelo arsenal instrumental e metodológico habitualmente disponível. O detalhe necessário implica a leitura integrada do comportamento da matrioska climática à mesoescala, à escala local e à microescala.

À mesoescala, é necessário considerar o sítio e a posição geográfica (latitude, proximidade ao mar e ao rio, diferenciação altimétrica, etc.), a inclinação dos raios solares e o estado de tempo. À escala local é preciso adicionar ao atrito natural a rugosidade artificial, as formas e volumetrias, a diversidade de elementos presentes e o metabolismo existente. E, à escala da rua – microescala – é essencial estimar como é que os comportamentos da cada um dos elementos climáticas nas duas escalas espaciais anteriores são modificados de acordo com a orientação, a exposição, o *Aspect Ratio*, o *Sky View Factor* e as características físico químicas específicas dos vários elementos, materiais, formas e volumes.

Esta complexidade é particularmente expressiva nas latitudes onde a altura do Sol e a duração dia/noite são muito distintas ao longo do ano como acontece no Porto. À microescala, apesar do conjunto de elementos naturais e artificiais ser mais ou menos fixo, o balanço energético varia bastante ao longo do dia e do ano, condicionando as manifestações da temperatura, da humidade, da nebulosidade ou da velocidade e direção do vento junto ao solo.

E, só depois de compreender detalhadamente o comportamento termo-higro-anemométrico à escala espacial da copa urbana – *canopy layer* – protagonizada pela rua, é possível identificar com clareza o papel que cada um dos elementos presentes desempenha no mosaico climático e escolher, com base na evidência científica, as melhores opções para oferecer conforto, qualidade de vida e bem-estar indoor e outdoor para os seres humanos sem perturbar a harmonia entre os restantes elementos do ecossistema. Para cumprir este desígnio, a árvore recuperou definitivamente o seu papel enquanto instrumento de planeamento fundamental em espaços urbanizados que ambicionam ser cada vez mais saudáveis, inteligentes, inclusivos e adaptados aos riscos climáticos.

E, por isso, a arborização urbana tem sido incluída em várias cidades nas estratégias de adaptação aos riscos climáticos – causados e/ou amplificados pelos espaços urbanos –, para além de contribuírem para enriquecer o ecossistema urbano (Oke et al., 2017), uma vez que contribuem também para melhorar a qualidade do ar, a saúde e o bem-estar de forma geral para além de atraírem outras formas de vida selvagem (Figura 3).

Todavia, a introdução da árvore como instrumento de planeamento sustentável de espaços urbanizados implica um diagnóstico a várias escalas e em múltiplas dimensões. Para cumprir os objetivos pretendidos, é necessário realizar um diagnóstico detalhado, dedicado e cirúrgico dos vários elementos naturais e artificiais existentes no local em concreto, para que a árvore possa ser de facto uma terapêutica adequada e não mais um elemento perturbador. Para isso, é indispensável conhecer o contexto climático regional e, depois, fazer uma leitura pormenorizada dos vários mosaicos climáticos abaixo do *canopy layer*, analisando a combinação natural e artificial existente em cada quarteirão. A esta escala espacial de análise, cada rua e avenida tem de ser observada como um fundo de vale na nova morfologia artificial criada. E, como estes eixos viários foram sempre fundamentais para a circulação de pessoas e bens, conectando todos os espaços, públicos e privados, e definindo uma boa parte do metabolismo urbano, são inúmeros e têm contornos geométricos muito diversos em todas as cidades.

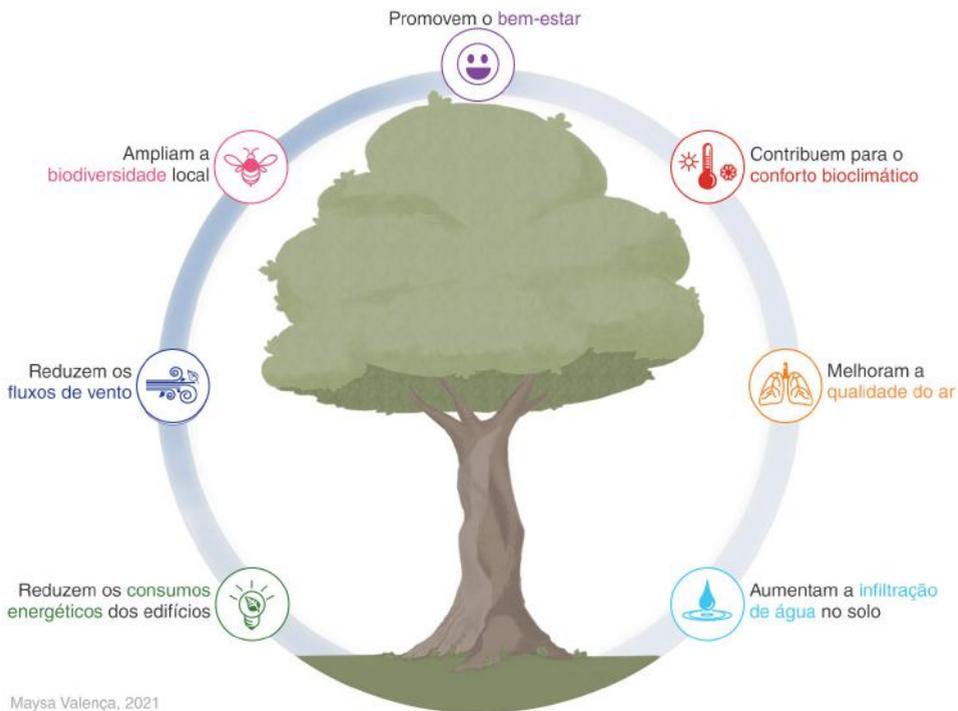


Figura 3 – Os benefícios da arborização urbana

Neste trabalho, o foco será centrado precisamente nestes canais de circulação – a rede viária municipal portuense – e que é definida como o espaço existente entre as fachadas do edificado ou entre as “fronteiras” de um não construído, contendo a faixa de circulação, os passeios, as ciclovias, as árvores ou quaisquer outros mobiliários urbanos. A rua fica, portanto, no plano da superfície terrestre abaixo do *canopy layer* e corporiza de facto aquilo que percebemos do espaço público vivido.

3. Princípios orientadores e principais conceitos

Para o desenvolvimento do plano de arborização importa à partida evidenciar os pressupostos que assistem ao espaço-rua, assumindo o que deve constituir o dimensionamento essencial dos seus principais elementos constituintes e atividades. Deste modo, importa responder às seguintes questões:

Qual a principal função de uma rua?

Qual é o espaço fundamental de uma rua?

Qual a dimensão mínima de uma árvore de arruamento que cumpra estruturalmente funções ambientais, sociais e estéticas?

Qual a dimensão mínima de uma rua que permita a existência de árvores de arruamento e garanta funções de circulação vitais /fundamentais?

O espaço-canal: rua

No contexto português de planeamento e ordenamento do território, o espaço-canal é definido como a área ocupada por infraestruturas de desenvolvimento linear, quer sejam implementadas à superfície do terreno, no subsolo ou no espaço aéreo, podendo surgir em contexto urbano ou rural (Decreto Regulamentar n.º15/2015 e Decreto Regulamentar n.º5/2019). Contudo, os espaços-canal, ou vias, estão fortemente associadas à imagem contemporânea do que constitui uma cidade (Lynch, 2011). Estas podem ser definidas como os canais de circulação, para pessoas e bens, podendo incluir tráfego de diversas naturezas – rodoviário, ferroviário, pedonal, aquático – mas em que o movimento, de pessoas ou bens, é sempre a função predominante. Deste modo, considera-se que todos os arruamentos urbanos, vias ou ruas são espaços-canal.

Para além da função de movimento ou circulação, as exigências dos espaços urbanos obrigam a que a maioria da malha de espaços-canal neste contexto acomode também outras funções importantes: 1) função de lugar; 2) acesso direto a edifícios e espaços públicos; 3) drenagem, iluminação e outros serviços de utilidade pública; 4) estacionamento. A provisão desta diversidade de funções vai distinguir e realçar a importância dos arruamentos urbanos, quando comparados às vias destinadas a transporte de alta velocidade e/ou a grande distância, como autoestradas e ferrovias, que excluem ou marginalizam a presença de peões (Cowan, 2005; Department for Transport, 2007).

A rua pode ser considerada como a menor unidade do espaço urbano, com forma própria, que contribui para a morfologia de uma cidade. Ao nível do planeamento e desenho urbano, a escala da rua é aquela que mais se aproxima da escala da percepção humana – a partir de qualquer ponto de observação numa cidade, é possível estabelecer uma relação próxima com os constituintes da rua e as suas características: as faixas de circulação; o edificado e os seus pormenores construtivos; o dinamismo sazonal e a sombra de uma árvore; o padrão, a estereotomia, a cor e a textura do pavimento; a sinalética e o mobiliário urbano. Para além disso, o traçado das ruas vai influenciar a disposição dos edifícios, dos quarteirões, dos espaços abertos e de outros espaços públicos, assim como a relação destes elementos entre si e com e as pessoas que usufruem do espaço urbano (Lamas, 2000).

Assim, a **rua** é aqui definida como um espaço-canal de uso público, geralmente aberto na malha construída e edificada (malha urbana), cuja função principal é garantir os fluxos, a facilitação da circulação, a ligação e o acesso entre os diversos espaços de utilização humana. A rua é igualmente um espaço público de estadia, encontro, relacionamento e identidade, facilitando o acesso e a interação com os espaços parcelares confinantes e com as atividades que aí ocorrem.

Sendo a rua um espaço linear, a sua multifuncionalidade está primeiramente condicionada pela dimensão **largura**; quanto mais larga for uma rua, mais componentes físicos poderá suportar e, desse modo, albergar também uma maior diversidade de fluxos e funções. Neste contexto destacam-se as circulações e acessos de pessoas e veículos. Assim, e de acordo com as orientações atuais da CMP, a circulação de uma pessoa com mobilidade reduzida, deve ser garantida na rua ao longo de um corredor com 2,40m de largura (CMP, 2021). De igual modo, deve ser também mantido, pelo menos, um corredor para a passagem e operação de veículos de emergência de grandes dimensões, que necessitam de uma largura mínima de 3,50m (no caso do edificado ter uma altura inferior a 9m, sendo que edifícios de altura superior a largura do corredor deve aproximar-se de 6m; Portaria n.º 135/2020) e de uma altura livre de 4 a 5m. Por defeito, considerar-se-á 6m como a largura mínima do corredor de emergência no presente trabalho. O corredor para veículos de emergência, pode ser partilhado com outros fluxos.

Uma vez garantidas as dimensões para os fluxos de pessoas com mobilidade reduzida e para veículos de emergência, poderá então considerar-se incluir o elemento **árvore**.

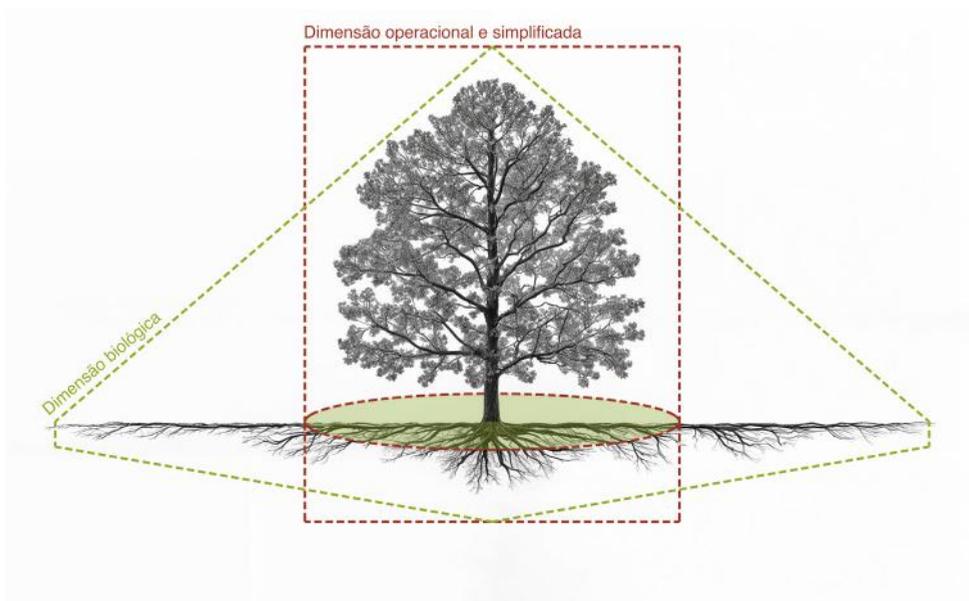


Figura 4 – Representação conceptual da árvore (adaptada de Farinha-Marques, 2023)

A árvore

Uma **árvore** é uma planta lenhosa com dominância apical, possuindo geralmente um tronco principal e vários ramos secundários; o elevado suporte dos tecidos lenhosos permite-lhe

atingir alturas consideráveis, sendo botanicamente classificada como fanerófito florestal (altura superior a 5–6m). As árvores podem ser as maiores plantas da Terra, com grande variação de forma e tamanhos, desde cultivares anãs até indivíduos de 90 m de altura. A árvore é constituída por uma parte aérea (troncos, ramos e folhas) e uma parte subterrânea (raízes); embora seja difícil apreender a dimensão das raízes, estima-se que a parte subterrânea explore no mínimo um volume de espaço aproximadamente igual ao da parte aérea (Trowbridge & Bassuk, 2004; Figura 4).

O estado do **sistema radicular** de uma árvore está intimamente relacionado com a sua integridade geral; uma perturbação grave ou até a remoção de uma parte substancial das raízes poderá ter efeitos muito nefastos. O sistema radicular de uma árvore, embora se desenvolva apicalmente nas fases iniciais do seu crescimento, apresenta uma localização predominantemente superficial na sua idade adulta. Estas raízes secundárias tendem a crescer nas zonas de solo com menor compactação e maior disponibilidade de água, oxigénio e nutrientes, correspondentes às camadas superficiais do solo. De facto, estima-se que a maioria das raízes se localize nos primeiros 60cm de profundidade, havendo pouca dispersão de raízes abaixo dos 2m ou 3m, para a maioria das espécies. Pelo contrário, a dispersão lateral das raízes alcança geralmente uma distância equivalente à da altura da árvore (Figura 5; Dobson, 1995; Wageningen University & Research, 2021).

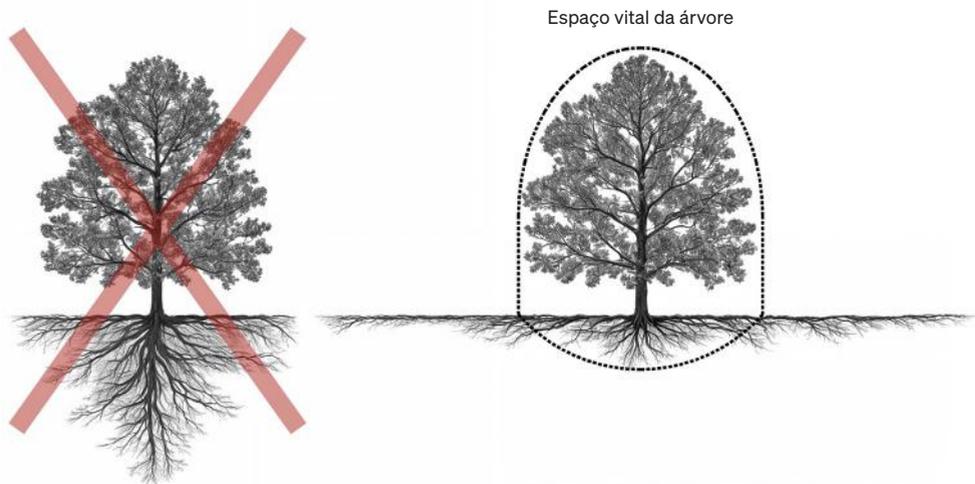


Figura 5 – À esquerda, representação equivocada do sistema radicular de uma árvore; à direita, representação mais precisa do sistema radicular de uma árvore (adaptado de Dobson, 1995)

Ao longo dos tempos, o desenho da rua e a sua importância foram sendo alterados à medida das necessidades da cidade. O aumento da população urbana, a introdução de veículos automóveis e as preocupações com o aumento dos níveis de poluição foram os elementos que mais condicionaram o pensamento da cidade. Neste sentido, a partir do século XIX foram propostas novas formas de pensar a cidade que valorizavam a presença de vegetação e de espaços verdes. Exemplos disso são os projetos urbanísticos para a cidade de Paris coordenados por Haussman, a cidade-jardim de Ebenezer Howard, os conceitos urbanísticos de Corbusier, e mais recentemente os conceitos de corredores verdes (Benevolo, 1978).

Na cidade, o bom desenvolvimento da vegetação, principalmente da que apresenta maiores dimensões, pode ser comprometido pela falta de espaço para o pleno desenvolvimento da parte radicular e aérea das plantas, pela falta de permeabilidade, pela excessiva compactação e contaminação dos solos, e também pela qualidade do ar negativamente modificada sobretudo pelas emissões do setor dos transportes e indústrias (Alegria, 2018). Apesar destas condicionantes, a árvore tem um papel preponderante nos serviços de ecossistemas proporcionando diversos benefícios ambientais, sociais, culturais ou estéticos. De acordo com a FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), as árvores são essenciais para o conforto e a sustentabilidade das cidades pois contribuem beneficentemente para o ecossistema urbano. Estes benefícios são também denominados de serviços de ecossistema (Dwyer et al., 1992; Tyrväinen et al., 2005; Nowak & Dwyer, 2007; Roy et al., 2012), sendo alguns destes os seguintes:

Diminuição do efeito de “ilha de calor” e aumento do conforto bioclimático para os utilizadores da rua, devido à sombra que providenciam e vapor de água que libertam;

Contribuição para uma melhor climatização do edificado envolvente, especialmente ao providenciar sombra nos meses mais quentes, conduzindo assim a uma poupança de energia;

Melhoria da qualidade do ar, ao emitir oxigénio, absorver gases poluentes e filtrar e fixar partículas em suspensão;

Redução do escoamento superficial ao interceptarem a precipitação e facilitando a infiltração de água no solo, reduzindo assim a ocorrência de inundações;

Atuação enquanto barreiras contra a poluição sonora, ao absorver e dispersar o som;

Inibição da velocidade do tráfego automóvel e podem funcionar como proteção de acidentes entre veículos em sentidos inversos ou entre veículos e peões;

Estimulação da utilização de modos suaves de deslocação e de transportes coletivos, ao melhorarem as condições ambientais e de segurança da rua, contribuindo positivamente para a redução da poluição e do sedentarismo;

Promoção do comércio local e valorização dos bens imobiliários na proximidade;

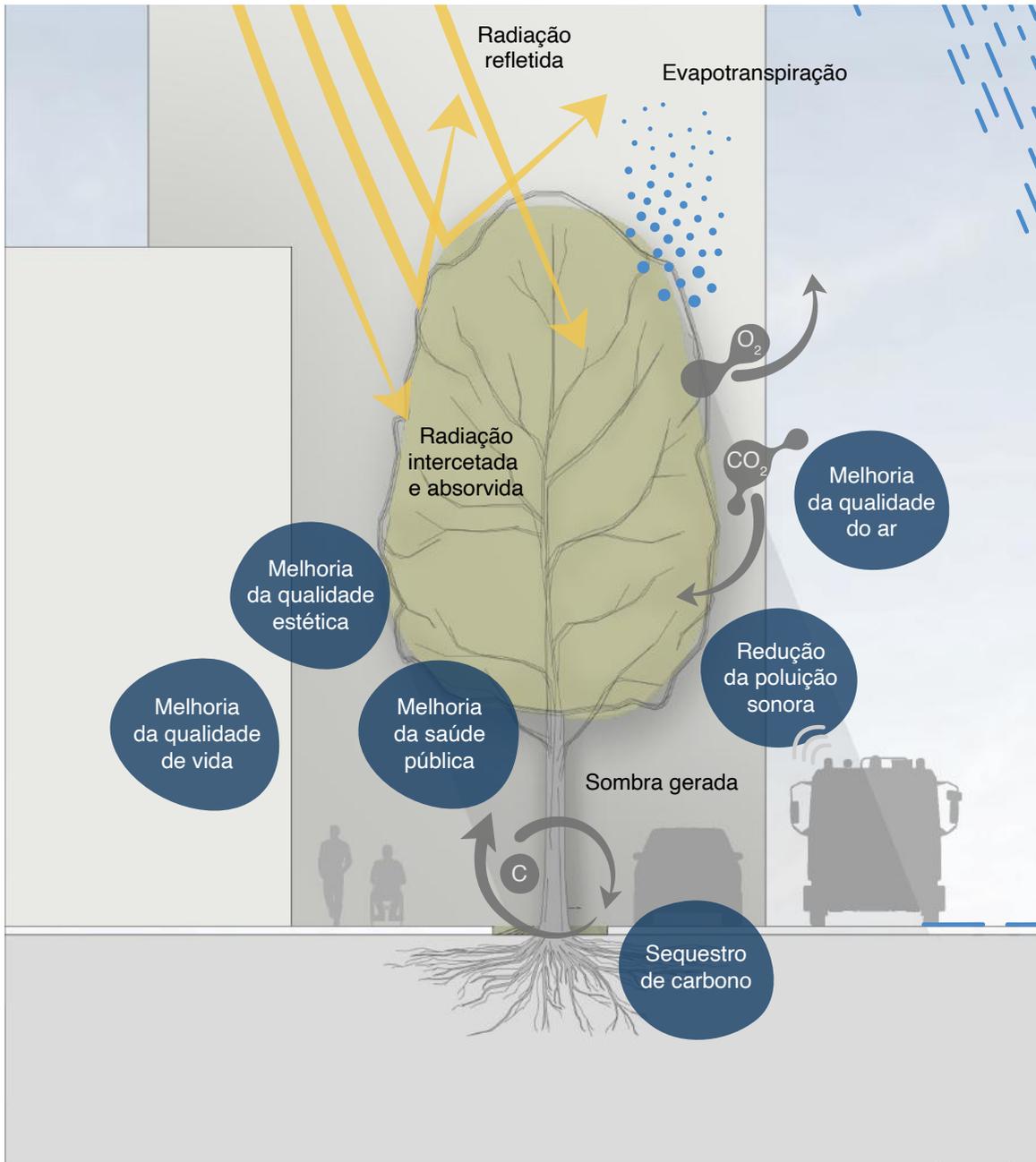
Criação de experiências estéticas e sensoriais ricas, contrastando com a envolvente construída, contribuindo para a redução do stress e melhoria da saúde e bem-estar;

Diversificação de flora, fauna e habitats em contextos altamente artificializados, sendo que o aumento da biodiversidade, a várias escalas, potencia grande parte dos benefícios listados anteriormente.

Diversos estudos fizeram já a quantificação destes benefícios em termos monetários, revelando que são bastante mais elevados do que possíveis custos de manutenção ou de danos causados pelas árvores (Tyrväinen et al., 2005; Soares et al., 2011; Song et al., 2018).

A necessidade de as ruas acomodarem diversas funções reflete-se em inúmeras condicionantes para o desenvolvimento da árvore nestes espaços. A instalação de árvores no

espaço urbano tem-se realizado muitas vezes sem seguir as melhores práticas no que se refere à seleção das espécies, às condições de instalação e falta de gestão eficaz (Carvalho, 2009). O aumento do número de planos de arborização realizados nos últimos anos são a prova de que existe uma necessidade crescente de adotar boas práticas e definir regras orientadoras para a introdução da árvore no contexto das ruas e outros espaços-canal. Esta torna-se uma tarefa difícil quando a árvore é percebida como um elemento causador de problemas, nomeadamente por motivos de risco e segurança, o aumento de detritos orgânicos e disputa do espaço público (Fernandes et al., 2017), em geral podendo conflitar com várias outras funções da rua, nomeadamente as de circulação automóvel e pedonal. Neste sentido, é fundamental examinar as ruas considerando as suas principais funções, de modo a refletir atentamente sobre o espaço necessário para o bom desenvolvimento morfológico e fisiológico da árvore e as incontornáveis funções vitais de circulação (por exemplo, veículos e equipamentos de combate a incêndio; veículos e equipamento de resgate de pessoas feridas e acidentadas; e mitigação de outros problemas de catástrofe).



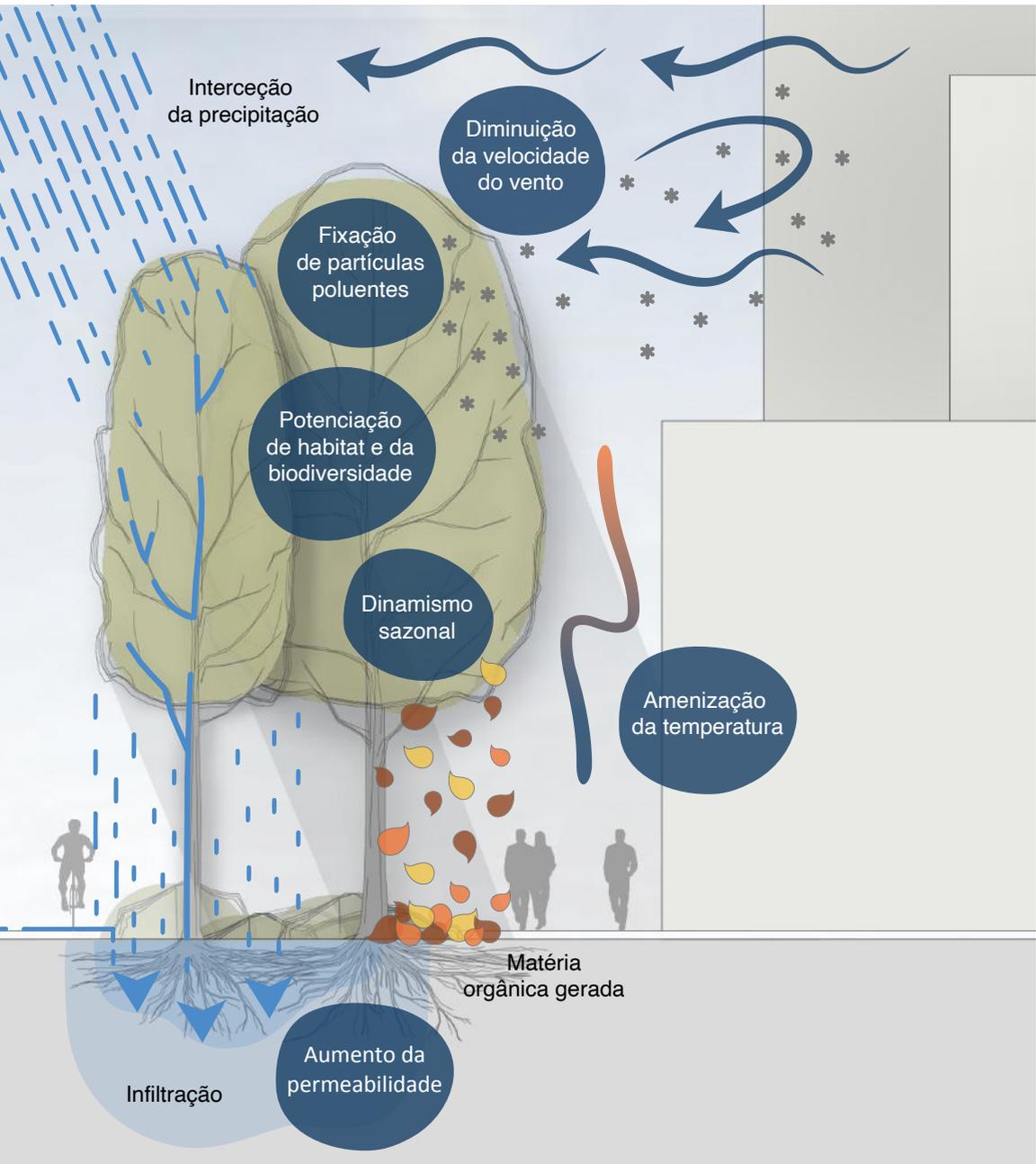


Figura 6 – Dinâmica ecológica e paisagística da arborização de arruamento – o ecossistema da rua

A árvore de arruamento

Importa agora registar que uma **árvore de arruamento** é aqui definida como um fanerófito florestal (planta lenhosa de altura superior a 5–6m) que se encontra em contexto de arruamento, adequando-se às características espaciais e funcionais da rua. Neste sentido, possibilita os fluxos de pessoas e veículos, e participa no metabolismo e na composição espacial da rua, providenciando diversos benefícios ecológicos, ambientais, sociais e económicos. Para que isso aconteça, sem causar constrangimentos para as diversas funções da rua, a sua forma deve prever um fuste limpo, de modo que sob a sua copa se possa circular com o mínimo de constrangimentos. A árvore de arruamento deverá poder crescer livremente (sem grandes ações de manutenção), em solo/substrato fértil e permeável, num contexto de permanência no local (mínimo de 20–30 anos) para garantir o bom desempenho de serviços de ecossistemas, pelo menos a curto e médio prazo. Este cenário temporal corresponde à jovem maturidade da maioria das espécies utilizadas em contexto de arruamento na região do Porto (Moreira, 2008). A partir da sua jovem maturidade as árvores na rua exigem maior atenção, aumentando as ações de manutenção de modo a otimizar o seu desempenho no espaço onde se inserem; findo este período poderá ser necessário considerar a adoção de uma manutenção mais intensa, nomeadamente recorrendo a práticas de arboricultura mais frequentes, exigentes e complexas, ou a sua substituição. Também é a partir desta idade que as árvores atingem maior interesse ao nível da provisão dos serviços de ecossistema que lhe são associados, exigindo por isso uma cuidadosa avaliação custo-benefício, que ajudará a determinar a estratégia mais adequada a cada situação.

Tendo em conta que os benefícios fornecidos pela árvore estão, geralmente, relacionados com a sua massa foliar, considera-se importante selecionar espécies que atinjam **alturas de, pelo menos, 10 a 12m** e prever que a altura da copa seja garantidamente superior à altura do fuste; idealmente, sugere-se a proporção de $\frac{1}{3}$ de fuste para $\frac{2}{3}$ de copa. Para que se possa circular sob a sua copa é desejável que a árvore apresente um **fuste limpo**, idealmente de 4m ou mais, na sua jovem maturidade. Exceções podem ocorrer com árvores perenifólias de copa estreita no que respeita à circulação por baixo das suas copas, como é caso do cipreste de copa estreita (*Cupressus sempervirens* 'Stricta') e teixo de copa estreita (*Taxus baccata* 'Fastigiata'); nestes casos, para garantir um bom desempenho formal e estético das árvores, é fundamental que estas desenvolvam copa desde o colo. Deve igualmente acautelar-se que a árvore de arruamento não produza florações, frutificações ou espinhos que ponham em risco a segurança dos transeuntes.

Em relação à sazonalidade, considera-se que as **espécies caducifólias** são aquelas que melhor se adequam à generalidade das situações em contexto de arruamento, especialmente em casos de maior proximidade com as fachadas dos edifícios. As árvores caducifólias oferecem sombra no período estival e permitem a exposição solar no período invernal, contribuindo também para a regulação da ventilação mesmo quando não ostentam folhas. Por outro lado, as **espécies perenifólias** têm a vantagem de manter a sua folhagem durante todo o ano, revelando uma provisão mais constante dos serviços de ecossistema e oferecendo uma vivência contínua do verde. Deste modo, a escolha de espécies perenifólias pode ser interessante para situações de fachadas cegas ou localizações mais ao centro da rua.

A manutenção de indivíduos arbóreos saudáveis deve atender à **preservação** da estrutura aérea (tronco e copa) e, especialmente, da estrutura subterrânea (raízes), pois só deste modo se poderá potenciar os benefícios que a árvore providencia enquanto se minimiza o risco de queda de ramos ou de todo o indivíduo. Neste sentido, entende-se como **espaço vital da árvore** o volume aéreo, ocupado pela copa e tronco, e o correspondente volume subterrâneo, ocupado pelas principais raízes, indicativamente definido pela projeção planimétrica da copa; este espaço corresponde ao espaço mínimo necessário para viabilizar a árvore, nomeadamente ao nível das suas funções vitais principais (espaço de absorção radicular e fotossíntese).

As raízes mais importantes da árvore localizam-se junto ao tronco e integram a **placa radicular estrutural**; esta zona da raiz é a principal responsável pela sustentação estrutural de todo o indivíduo arbóreo. A dimensão da placa radicular estrutural está diretamente relacionada com a dimensão da árvore: árvores de tronco ou copa mais larga apresentam uma maior placa radicular estrutural, sendo que se pode estender até uma distância de 3,30m do tronco em árvores de grande dimensão. Qualquer dano infligido às raízes da placa radicular estrutural tem uma elevada probabilidade de originar problemas graves à integridade da árvore e até mesmo a sua morte ou queda. Para além da placa radicular estrutural, identifica-se a **zona radicular crítica** que engloba cerca de 85% das raízes. Estas raízes são fundamentais para a absorção de água e nutrientes e qualquer dano nesta zona irá também ter implicações para a saúde e sobrevivência da árvore. A extensão da zona radicular crítica está intimamente relacionada com a dimensão do tronco e da árvore em geral (Dicke, 2010); numa aproximação expedita considera-se a linha de projeção da copa no solo como definidora de um espaço onde se situam a maior parte das raízes relevantes para a manutenção da vida da árvore (Trowbridge & Bassuk, 2004). O restante sistema radicular, para lá da placa radicular estrutural e da zona radicular crítica, pode ocupar uma vasta extensão, mas corresponde a raízes finas que não são fulcrais para a sobrevivência da árvore.

As árvores em contexto de arruamento encontram-se numa situação muito constrangida ao nível da disponibilidade e qualidade do solo, mas, de qualquer maneira, aconselha-se a que não haja qualquer tipo de perturbação na placa radicular estrutural e que sejam limitadas as intervenções no solo na zona radicular crítica; estima-se que a destruição de mais de 30% da zona radicular crítica resulte na morte de ramos ou de todo o indivíduo arbóreo (Georgia Forestry Commission, s.d.). Assim, considera-se pertinente localizar as infraestruturas subterrâneas em locais estratégicos das ruas (por exemplo, canais técnicos junto ao edificado), com telas protetoras se necessário, para que a árvore possa desenvolver a sua componente subterrânea sem conflitar com estas infraestruturas. No mesmo sentido, recomenda-se que as árvores de arruamento se possam desenvolver em substrato adequado, o menos compactado possível, em condições de boa permeabilidade e drenagem e com volume de solo adequado à dimensão da árvore (por exemplo, para uma árvore de dimensão média recomenda-se um volume de solo de aproximadamente 25m³; Urban, 1992).

Em relação à manutenção ao nível da **copa**, recomendam-se intervenções mínimas para que a árvore possa crescer de forma harmoniosa e equilibrada, sem originar assimetrias que poderão causar um desequilíbrio na sua sustentação. Para minimizar a necessidade de operações de poda, revela-se fulcral a garantia do **afastamento entre a**

copa da árvore e o limite lateral da rua, quer se trate de edifícios ou propriedades adjacentes à rua; neste sentido, a escolha da espécie ou cultivar em articulação com o local da sua implantação deve garantir que a árvore se desenvolva no intervalo de tempo de 20 a 30 anos com baixa probabilidade de tocar nas fachadas. No âmbito deste cenário temporal, e para efeitos de plano e projeto, propõe-se a distância de 1m entre o limite da rua e a largura expectável da copa ao fim deste intervalo de tempo. Por este motivo, considera-se fundamental que um dos principais critérios de seleção da espécie para árvore de arruamento seja a largura da sua copa na idade adulta e a articulação com a largura da rua a que se destina, assim como das funções que se pretenda acomodar nessa rua. De um modo geral, as árvores de menores dimensões terão melhor adequabilidade em ruas estreitas e as de maiores dimensões em ruas mais largas.

A árvore mínima de arruamento

Dependendo da largura da rua e das funções que esta acomoda, as dimensões das árvores de arruamento podem variar significativamente de acordo com essas oportunidades espaciais e funcionais, sobretudo ao nível da largura das copas. Para compatibilizar a presença da árvore na rua, um espaço altamente disputado por múltiplas funções e interesses, revela-se importante discutir a **menor dimensão** deste elemento arbóreo, de modo a garantir que cumpra a provisão dos serviços de ecossistema que lhe são associados, e simultaneamente uma condição mínima de segurança e risco controlado para os utilizadores humanos. Tal sinergia é muito determinada pela articulação entre o espaço necessário e disponível para as principais funções da rua e o espaço para o desenvolvimento da árvore em condições de salubridade, segurança e dignidade, tendo em conta um cenário temporal de 20–30 anos. Este cenário temporal corresponde ao intervalo de tempo em que a maior parte das espécies de árvore de arruamento mais cultivadas na região do Porto atingem uma jovem maturidade (Moreira, 2008). Neste quadro, a dimensão **largura da rua** e **largura expectável da copa da árvore** para este cenário temporal são aqui entendidas como as variáveis mais significativas para esta reflexão.

Para identificar as características morfológicas e sazonais da **árvore mínima de arruamento** foi realizada uma pesquisa sobre as espécies vulgarmente utilizadas neste âmbito, disponíveis no circuito comercial. Especial atenção foi dada a espécies e cultivares mais recentemente desenvolvidas para espaços constrangidos, caducifólias e de sazonalidade adequada ao fotoperíodo do hemisfério norte. Neste sentido entende-se que a menor árvore de arruamento deve observar os seguintes requisitos:

1. copa estreita e/ou colunar, para reduzir a competição pelo espaço;
2. caducifólia, para oferecer sombra no verão e exposição solar no inverno;
3. possibilidade de formação fuste limpo, para não interferir com a passagem de peões e/ou veículos no canal de circulação;
4. proporção aproximada de $\frac{1}{3}$ de fuste para $\frac{2}{3}$ de copa, de forma a maximizar a área foliar.

Os resultados desta investigação revelaram espécies, como *Acer platanoides* 'Columnare', *Betula pendula* 'Fastigiata', *Carpinus betulus* 'Frans Fontaine', *Fagus sylvatica* 'Dawyck Purple', *Fraxinus ornus* 'Obelisk', *Ginkgo biloba* 'Fastigiata Blagon', *Liquidambar styraciflua* 'Paarl', *Liquidambar styraciflua* 'Slender Silhouette', *Populus tremula* 'Erecta', *Prunus serrulata* 'Sunset Boulevard', *Pyrus communis* 'Beech Hill', *Quercus palustris* 'Green Pillar', *Quercus robur* 'Fastigiata' e *Ulmus hollandica* 'Lobel', que poderão constituir a **árvore mínima de arruamento** e cuja menor largura de copa pode ir até aos 4m, para um período de 20 a 30 anos (Figura 7).

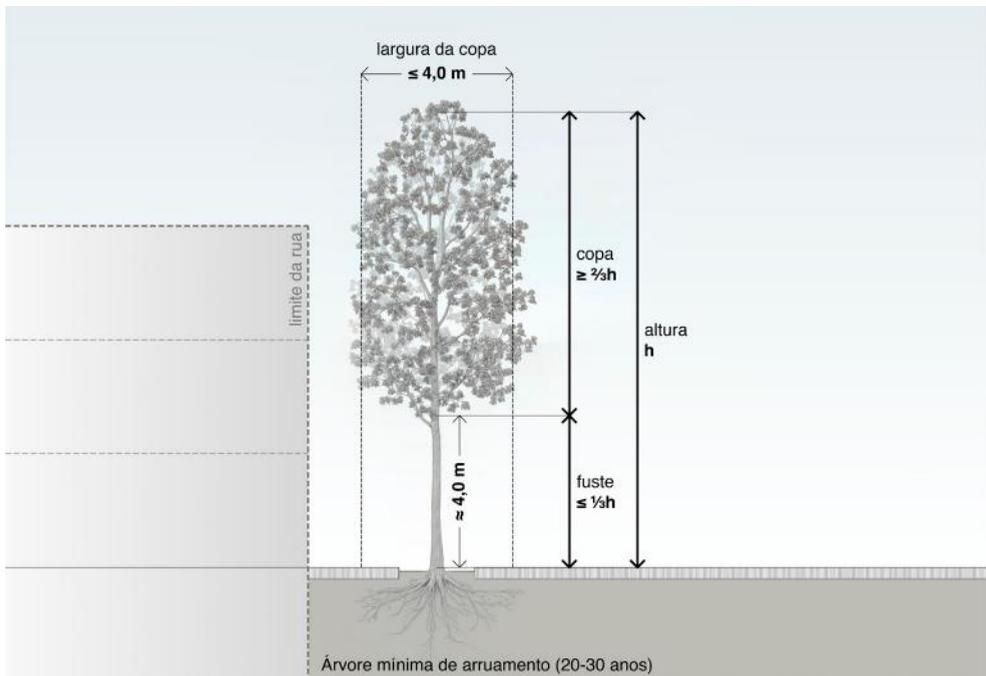


Figura 7 – Representação esquemática da árvore mínima de arruamento

A rua mínima arborizável

Da reflexão anterior sobre espaço-canal, rua, árvore de arruamento e árvore mínima de arruamento, surgiu a formulação da **hipótese** do que poderá constituir a **rua mínima arborizável**.

Como referido anteriormente, a rua é um espaço-canal multifuncional que apresenta múltiplas exigências ao nível dos fluxos de pessoas e veículos, especialmente em termos do espaço disponível para acomodar corredores de circulação de diferentes naturezas e das condições de segurança e conforto que deve oferecer aos seus utilizadores. Deste modo, o desenho e intervenção neste tipo de espaço público deve garantir uma articulação eficiente entre os espaços e elementos associados às diferentes funções, minimizando também os possíveis conflitos. Tendo isto em consideração, torna-se óbvio que o principal fator limitante a essa boa articulação é a largura da rua, que irá influenciar o espaço disponível para cada função.

Em primeiro lugar, devem ser garantidos os **fluxos essenciais**, que incluem a **circulação pedonal** e a **circulação de veículos de emergência e resgate**. Para isto, devem

ser incluídos, pelo menos, dois corredores para a circulação pedonal junto aos limites laterais da rua (um de cada lado), que permitam simultaneamente o percurso longitudinal e o acesso direto aos edifícios e propriedades confinantes; estes corredores devem ser acessíveis para pessoas com mobilidade reduzida e cumprir as dimensões regulamentadas (largura mínima de 2,40m; CMP, 2021). De igual modo, deve ser também mantido, pelo menos, um corredor para a passagem e operação de veículos de emergência de grandes dimensões, com um mínimo de 6m de largura e 4m de altura, e que não deve distar mais de 10m do edificado/limite da rua (Portaria n.º 135/2020).

Para que as árvores possam marcar presença nas ruas e desempenhar de forma satisfatória os vários serviços de ecossistema, minimizando também os custos de manutenção, é necessário garantir espaço para que estas possam desejavelmente desenvolver-se em regime de crescimento livre num período de, pelo menos, 20–30 anos (o que corresponde a uma jovem maturidade na maioria das espécies), com o mínimo de intervenção ou manutenção possível. Ainda assim, mesmo que se preveja um mínimo de ações de manutenção é necessário proceder a regulares vistorias fitossanitárias e avaliações de risco da arborização. As árvores de arruamento, devido à proximidade a canais de circulação de peões e veículos, devem ser sujeitas a uma gestão cuidada e regular, de forma a detetar problemas fitossanitários e prevenir possíveis conflitos e/ou danos (Pokorny, 1992; Ellison, 2005; Roston-Szeryńska, 2019). Por este motivo, é especialmente importante a articulação entre a exigência de espaço para os fluxos essenciais e a exigência de espaço para o desenvolvimento da arborização, tendo em conta a dimensão largura da rua; isto significa que, sem exceção, a arborização só deve surgir em arruamentos quando a sua presença ou localização não comprometa os fluxos essenciais acima mencionados.

Neste sentido, a largura da rua mínima arborizável foi determinada em **10m**, como apresentado na Figura 8, e resulta da soma da largura mínima dos diversos elementos e funções fundamentais que ocorrem numa rua arborizada: 1) árvore de arruamento; 2) canal para circulação de pessoas com mobilidade reduzida; 3) canal para circulação de veículos de emergência. Alguns elementos foram ligeiramente sobredimensionados para permitir alguma flexibilidade e pequenos ajustes; foi também acrescentada uma distância de 1m entre a copa da árvore e o limite da rua, de modo a diminuir o conflito do arvoredo com as fachadas dos edifícios e os limites de propriedades privadas. Este afastamento é um valor mínimo, o qual poderá, desejavelmente, ser aumentado sempre que a largura da rua o permita. Este valor é um valor estimado que, dependendo da espécie, poderá exigir a médio-longo prazo alguma manutenção da parte aérea das árvores para garantir o seu eficiente cumprimento (poda). Do mesmo modo, recomenda-se que o fuste da árvore de arruamento seja igual ou superior a 4m, para permitir a passagem de veículos de grandes dimensões sob a sua copa, com especial relevância para os veículos de resgate.

Assim, considera-se que as ruas com largura inferior a 10m não poderão ser arborizadas, de modo a possibilitar a eficiente e segura circulação de pessoas de mobilidade reduzida e dos veículos de emergência de acordo com os padrões atuais. Por outro lado, as ruas com largura superior a 10m, poderão acomodar progressivamente mais elementos, idealmente de forma simétrica, à medida que a sua dimensão largura aumenta, providenciando desse modo mais benefícios para os seus utilizadores. Para as ruas arborizáveis (com largura superior a 10m), a sua arborização deve considerar uma articulação cuidada entre a largura da rua, a largura da árvore e o seu posicionamento. Após a garantia

de espaço para os fluxos essenciais, recomenda-se a utilização da maior árvore possível para a dimensão da rua, de modo a maximizar os serviços do ecossistema.

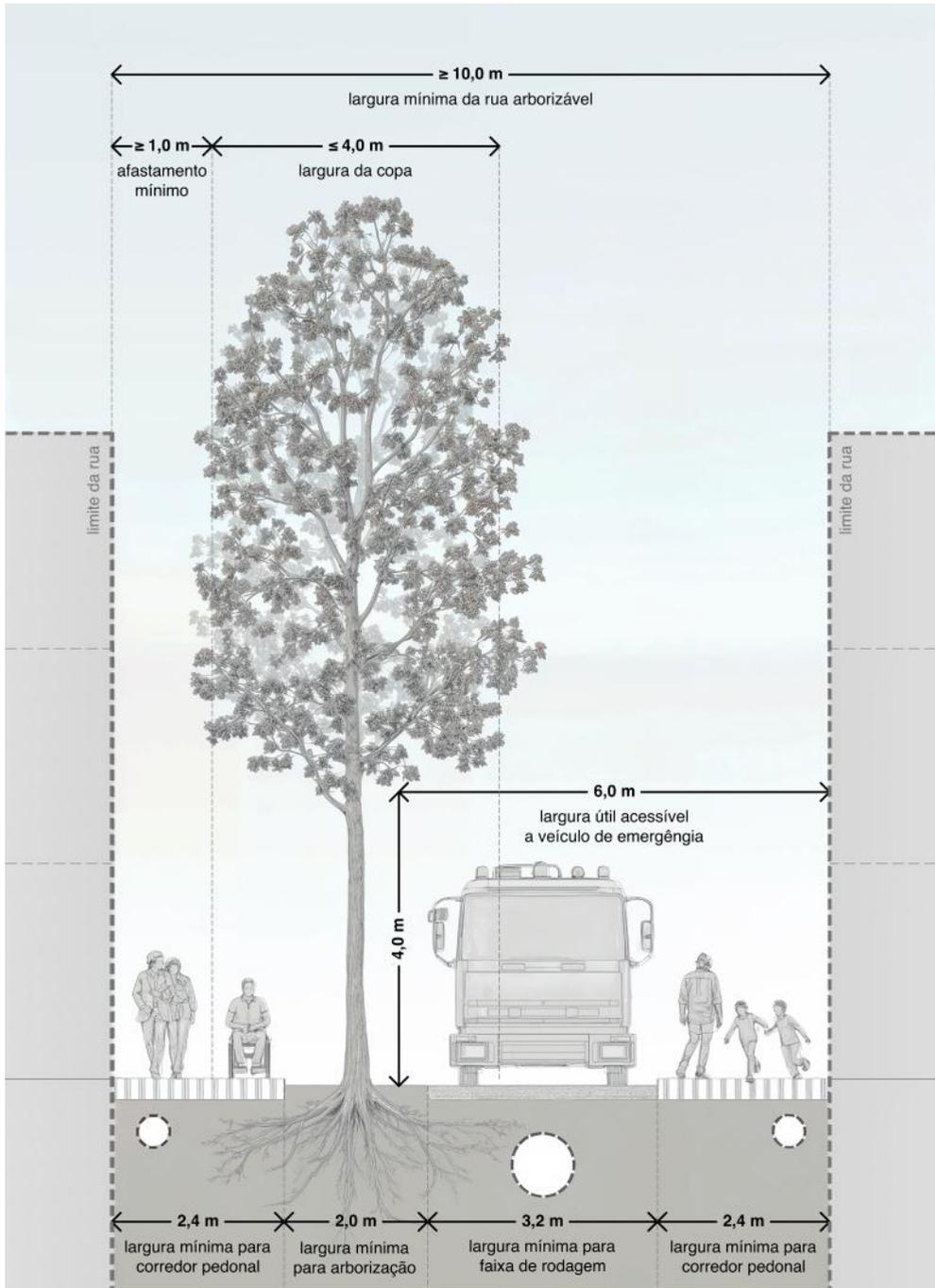


Figura 8 – Ilustração da hipótese da rua mínima arborizável, mostrando as dimensões aproximadas da largura mínima dos elementos fundamentais de uma rua arborizada

Para além de promover todos os serviços prestados pela árvore no ecossistema urbano, o Plano de Arborização ambiciona também potenciar a permeabilidade do espaço público nas ruas do Porto. A elevada taxa de impermeabilização da superfície do solo que se verifica na generalidade das ruas traz consequências ao nível da regulação dos ciclos hidrológicos, tais como o aumento da velocidade do escoamento superficial, redução da qualidade da água por acumulação de poluentes, aumento da erosão e redução da recarga dos aquíferos. Estas condições fazem com que as zonas urbanas se tornem especialmente propensas à ocorrência de inundações, devido à sobrecarga dos sistemas de drenagem tradicionais. A condução das águas pluviais para zonas mais permeáveis, especialmente associadas ao espaço da arborização, permitem, por um lado, mitigar alguns destes efeitos e, por outro, contribuem positivamente para melhores condições para o desenvolvimento da árvore no que diz respeito ao fornecimento de água ao solo.

Para além dos serviços de regulação (por exemplo, moderação do microclima e do ciclo hidrológico) e de suporte (como a produção de oxigénio e manutenção da biodiversidade), não devem ser descurados os serviços culturais que a árvore fornece em contexto urbano. A arborização contribui para o embelezamento e atratividade de qualquer zona urbana, e a interação dos humanos com as árvores traz positivos efeitos físicos, mentais, sociais e económicos (Roy et al., 2012; Andersson et al., 2015; Nesbitt et al., 2017). Assim, o Plano de Arborização ambiciona também que a reflexão, o desenho e a intervenção sobre as árvores de arruamento atinjam uma boa composição urbanística e paisagística, assegurando a sua congruência, funcionalidade, diversidade sensorial, depuração, simetria, continuidade e harmonia.

4. Metodologia

A metodologia, representada esquematicamente na Figura 9, pretende explicitar os principais momentos do trabalho desenvolvido. Resumidamente, após a formulação da hipótese já descrita no capítulo anterior (3. Princípios orientadores e principais conceitos), o trabalho iniciou-se com a recolha de dados através de visitas de campo e consulta de cartografia.

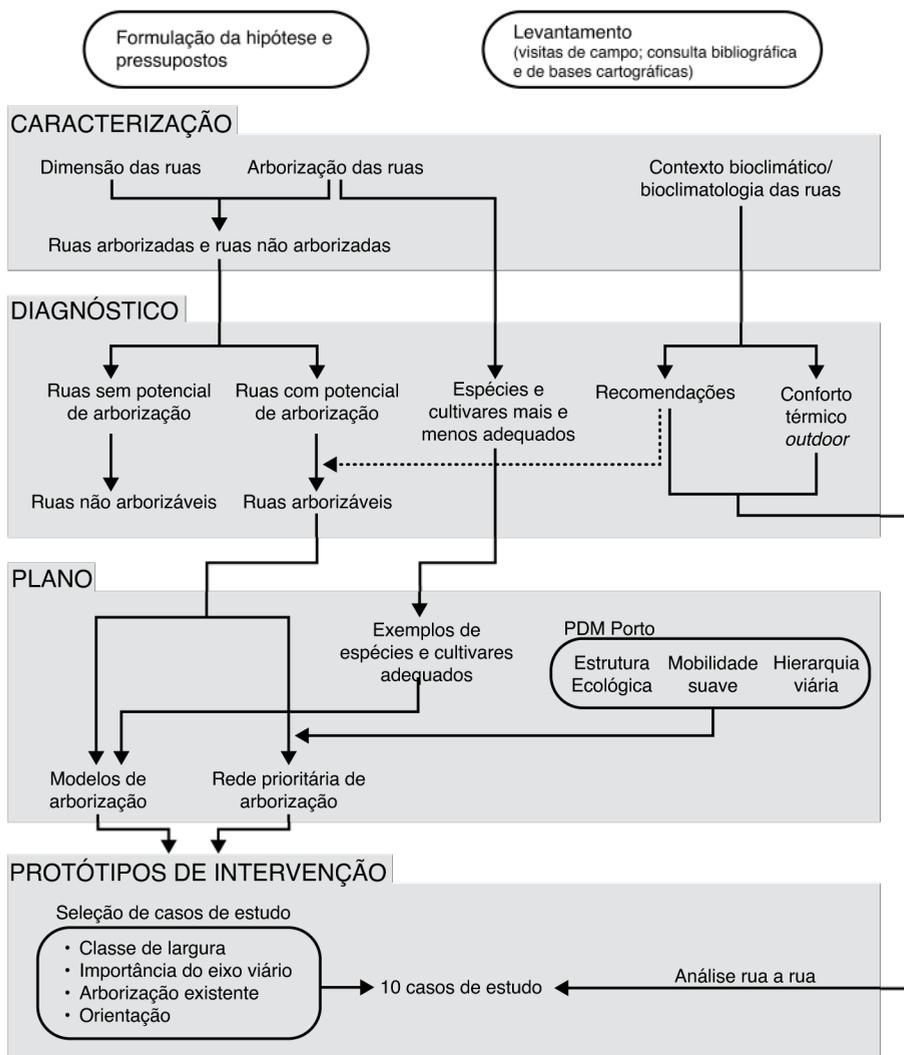


Figura 9 – Metodologia de trabalho

A caracterização consistiu essencialmente na compilação e análise dos dados mais importantes sobre o estado atual da arborização do Porto, abordando também o contexto bioclimático da cidade e das suas ruas. No diagnóstico foi feito o cruzamento e avaliação de toda a informação anterior referente às condições das ruas do Porto para suportar arborização, revelando as ruas arborizáveis e não arborizáveis da cidade.

No plano, procurou-se abordar, com detalhe, as ruas arborizáveis, formulando diversos **modelos de arborização** aplicáveis à generalidade das ruas do Porto, dependendo

da sua largura, que foram ilustrados com alguns exemplos pormenorizados da sua execução. Nesta fase, as variáveis espaciais orientaram de forma estruturante o processo de trabalho, atendendo sempre às orientações e recomendações do estudo bioclimático que possam aferir a pertinência e o tipo de arborização a praticar nas ruas. Com base nas ruas arborizáveis, foi definida uma **rede prioritária de arborização**, em que se destacam aquelas com maior premência de intervenção, inferida a partir do seu estado atual, assim como da sua ligação a redes de importância socio-ecológica à escala da cidade.

Finalmente, os **protótipos de intervenção** demonstram a aplicação dos princípios e modelos de arborização em casos concretos da cidade do Porto, demonstrando como os modelos se aplicam à especificidade das ruas em projeto.

4.1. Definição do objeto de estudo

A caracterização da situação existente consistiu no levantamento de informação sobre as **ruas** do Porto e a sua **arborização**. Este trabalho foi realizado através da consulta e análise de bases de dados já existentes, fornecidas pela Câmara Municipal do Porto, bem como da recolha de dados resultante de trabalho de campo.

Figura 10 – Ruas do Porto (objeto de estudo inicial)



Assim, identificou-se e balizou-se o objeto de estudo, o qual corresponde a todas as ruas da cidade do Porto (vias ou espaços-canal), existentes à data presente, e que têm um propósito multifuncional, isto é, permitem, pelo menos, o **trânsito pedonal** e garantem o **acesso direto a outros espaços públicos e a edifícios**. De acordo com estes critérios, foram excluídos os canais rodoviários da rede de serviço nacional (auto-estradas, itinerários principais, itinerários complementares e estradas nacionais), os canais

de ligação internível e as ferrovias pesadas, como descritos no Regulamento do Plano Diretor Municipal mais atual (CMP, 2020). Foram também excluídos da população em análise as pontes, viadutos, túneis e ruas associadas a edificado, pelas suas vincadas limitações à arborização. Devido à sua relevância nos atuais instrumentos de planeamento da cidade, a Estrada da Circunvalação foi acrescentada numa fase posterior de trabalho, ao objeto de estudo inicial, não tendo sido abordada logo de início devido à ausência de dados sobre a arborização.

O objeto de estudo será doravante evocado apenas como **ruas** e está representado na Figura 10. O mapeamento das ruas foi realizado em ambiente SIG (ArcMap 10.7), sendo os objetos registados como elementos lineares. Cada objeto corresponde a uma rua ou troço de rua com características semelhantes em relação à sua dimensão largura e arborização. O comprimento mínimo mapeável considerado foi 30m, isto é, troços de rua com dimensões inferiores a 30m não foram individualizados, mas integrados no troço adjacente com as características mais próximas.

A primeira abordagem ao objeto de estudo consistiu no reconhecimento das ruas da cidade do Porto através da realização de visitas de campo para observação direta de uma amostra representativa da sua heterogeneidade. O registo dos dados de campo foi essencial para a confirmação dos parâmetros mais pertinentes na caracterização das ruas e da sua arborização, e guiou na seleção da melhor informação existente nas bases de dados cartográficas disponibilizadas pela Câmara Municipal do Porto.

4.2. Classificação das árvores de arruamento consoante a largura da copa

No âmbito deste trabalho, foram identificadas todas as árvores que participam nas ruas da cidade, daqui para a frente designadas por **árvores de arruamento**.

Todas as ruas do Porto foram classificadas de acordo com a presença ou ausência de arborização de arruamento. Entende-se como **rua arborizada** aquela onde a árvore surge como elemento presente em alinhamento contínuo ao longo dos seus troços constituintes. Todas as ruas onde a árvore surge de forma esporádica ou descontínua, sem constituir um alinhamento claro, é considerada rua não arborizada.

O seu mapeamento foi registado da seguinte maneira: para todas as ruas, abordadas nos seus diferentes troços, estimou-se visualmente, com o auxílio de ortofotomapas e registo espacial do arvoredo, a presença ou ausência de alinhamentos de árvores de arruamento e verificou-se se estes constituíam pelo menos 50% da extensão dos seus troços. Neste sentido, em situações em que o troço da rua evidencia a presença de árvores de arruamento em 50% ou mais da sua extensão, é classificado como troço de rua arborizado. Quando o troço da rua evidencia presença de árvores de arruamento em menos de 50% da sua extensão, é classificado como troço de rua não arborizado.

Para realizar o trabalho de inventariação da arborização de arruamento recorreu-se às bases cartográficas disponibilizadas pela Câmara Municipal do Porto referentes ao arvoredo total da cidade, inventariado até ao final de maio de 2021. Estas bases integram a localização de cada exemplar arbóreo, assim como a sua descrição de acordo com diversos atributos, nomeadamente a espécie. Foi feita uma classificação das espécies

existentes de acordo com a dimensão da sua copa na maturidade, que é um dos fatores determinantes para a viabilidade da implantação das árvores nas ruas. Como já foi anteriormente referido, é empiricamente seguro afirmar que a maioria das espécies dominantes no Porto atingem a sua jovem maturidade ao fim de 20–30 anos. A estimativa da largura da copa de cada espécie teve em conta que uma árvore em ambiente urbano encontra mais restrições ao seu desenvolvimento natural, como acontece especialmente em contexto de solos mais impermeabilizados e compactados, e será mais difícil atingir os valores máximos estimados para a sua altura e largura. Desta forma, estimou-se que a **largura expectável da copa** neste tipo de ambiente será de aproximadamente menos 20% do que a largura máxima atingida em contexto natural (Sanders et al., 2014). Importa, no entanto, referir que estes valores são estimados, podendo ser diferentes das expectativas humanas. Neste processo, de acordo com a largura expectável da sua copa em contexto de arruamento, obtiveram-se cinco categorias:

Árvores de copa estreita: largura expectável da copa inferior a 4m;

Árvores de copa média-estreita: largura expectável da copa igual ou superior a 4m e inferior a 6m;

Árvores de copa média-larga: largura expectável da copa igual ou superior a 6m e inferior a 8m;

Árvores de copa larga: largura expectável da copa igual ou superior a 8m e inferior a 12m;

Árvores de copa muito larga: largura expectável da copa igual ou superior a 12m.

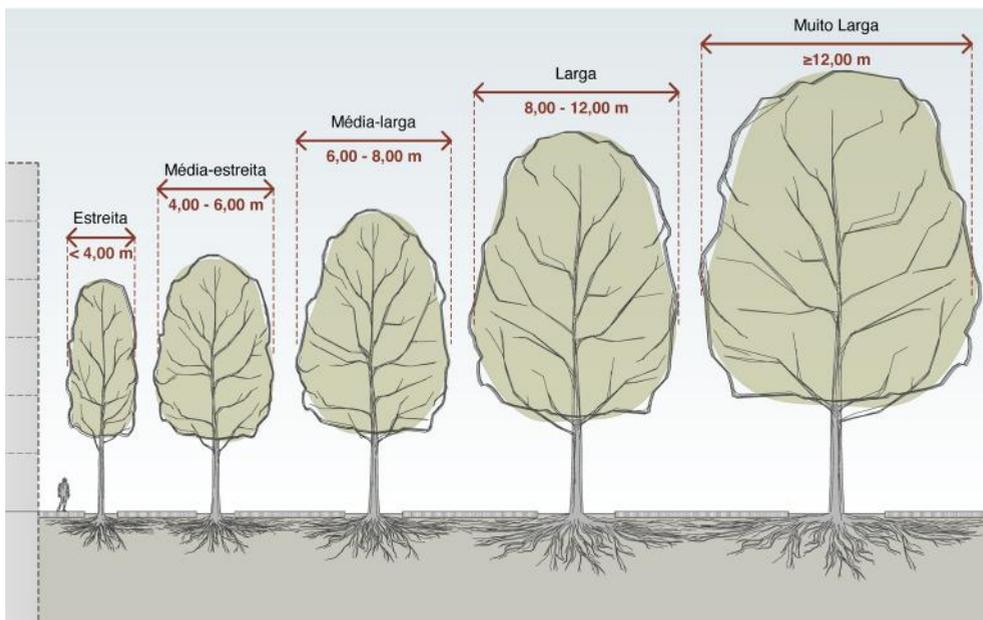


Figura 11 – Classes de largura expectável de copa de árvore, ao fim de 20-30 anos

Figura 12



árvore de copa estreita, freixo de copa estreita (*Fraxinus sylvatica* 'Dawyck Gold')



árvore de copa média-larga, mélia (*Melia azedarach*)



árvore de copa muito larga, plátano (*Platanus x acerifolia*)

A alocação de cada espécie (ou cultivar) a uma destas categorias exige o conhecimento do potencial crescimento natural da árvore, que pode ser consultado em diversas fontes bibliográficas relevantes para o contexto edafoclimático da região do Porto. Para o presente trabalho, privilegiou-se o estudo de Marques Moreira (“Árvores e arbustos em Portugal”, 2008), embora se tenham também consultado outras referências, especialmente para variedades cultivadas desenvolvidas mais recentemente (Lorenz Von Ehren, 2014; André Bryant Jeunes Plants, 2022; Ebben, 2022; Van den Berk Nurseries, 2022; Hillier Garden Centres, 2022). A largura expectável em contexto urbano, devido aos grandes constrangimentos infligidos à árvore, será sempre mais reduzida do que em contexto natural; deste modo, foi considerada uma redução de 20% em relação à largura máxima obtida em meio natural (Sanders et al., 2014). Adicionalmente, foram feitas medições da largura de copa para vários exemplares arbóreos do Porto, de diferentes espécies e idades, de modo a afinar os valores indicados na literatura. Estas medições exerceram-se sobre fotografia aérea do Porto de 1939, 1947, 1958, 1979 e 1992 e imagens de satélite desde o início da década de 2000 até ao presente.

4.2.1. Árvores de copa estreita

As árvores de copa estreita incluem todas as espécies cujo desenvolvimento da copa em contexto urbano é **inferior a 4m de largura**, considerando um horizonte temporal de 20–30 anos. Para auxiliar a seleção de espécies e cultivares de copa estreita, compilou-se uma pequena lista com exemplos para as ruas do Porto (Tabela 2). Em relação às exigências de espaço no arruamento para a presença de uma árvore de copa estreita podem listar-se as seguintes recomendações:

- 1) **Largura da caldeira ou faixa permeável contínua:** deve ser, no mínimo, de **1,50m** (tendo em conta os valores previstos no Código Regulamentar do Município do Porto; CMP, 2020a).
- 2) **Distância entre eixo de implantação da árvore e limite lateral da rua:** deverá ser, no mínimo, de **3m** para garantir que a sua copa mantém um afastamento mínimo de 1m do limite da rua, especialmente das fachadas do edificado, até à sua jovem maturidade (20–30 anos). No caso de se querer manter um corredor pedonal com as dimensões regulamentadas (mínimo 2,40m; CMP, 2020b) entre a árvore e o limite da rua, esta distância deverá aumentar para um mínimo de 3,15m.
- 3) **Compasso de plantação:** regra geral, propõe-se que as árvores de copa estreita distem entre si, **6m** no arruamento. Devido às suas particularidades, largura reduzida e forma muitas vezes colunar, um compasso de plantação mais apertado em alinhamentos pode resultar em excessiva densidade. Este valor foi inspirado na largura da rua estreita (metade do valor médio da classe de largura), bem como na aproximação à largura média de um lote ou edifício típico no Porto, o que parece resultar numa composição mais harmoniosa.

De modo a garantir a integridade da placa radicular estrutural e a própria sustentação da árvore, considera-se muito relevante a proteção total de uma área circular de, pelo menos, 0,90m de raio em relação ao centro da árvore (1,80m de diâmetro); aqui deverá ser, a todo o custo, evitada qualquer escavação ou intervenção que lesione as raízes (Dicke, 2010). Deve também minimizar-se a perturbação do solo e das raízes numa superfície circular de 2m de raio em relação ao centro da árvore (4m de diâmetro, correspondente à projeção aproximada da largura da copa à superfície do solo).

Árvores de Copa Estreita	
Caducifólias	
<i>Acer campestre</i> 'Fastigiatum' <i>Acer campestre</i> 'William Caldwell' <i>Acer rubrum</i> 'Scanlon' <i>Acer x freemanii</i> 'Armstrong' <i>Acer x freemanii</i> 'Armstrong Two' <i>Betula pendula</i> 'Obelisk' <i>Carpinus betulus</i> 'Frans Fontaine' <i>Fagus sylvatica</i> 'Dawyck Gold' <i>Fagus sylvatica</i> 'Dawyck Purple' <i>Fraxinus ornus</i> 'Ebben's Column' <i>Ginkgo biloba</i> 'Barabits Fastigiata' <i>Ginkgo biloba</i> 'Fastigiata Blagon'	<i>Ginkgo biloba</i> 'Princeton Sentry' <i>Liquidambar styraciflua</i> 'Paarl' <i>Liquidambar styraciflua</i> 'Slender Silhouette' <i>Malus tschonoskii</i> <i>Populus nigra</i> 'Italica' <i>Populus tremula</i> 'Erecta' <i>Prunus serrulata</i> 'Sunset Boulevard' <i>Quercus coccinea</i> 'Fastigiata' <i>Quercus palustris</i> 'Crownright' <i>Quercus robur</i> 'Fastigiata Koster' <i>Sorbus aucuparia</i> 'Sheerwater Seedling' <i>Sorbus x thuringiaca</i> 'Fastigiata'
Perenifólias	
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i> 'Alumii' <i>Chamaecyparis lawsoniana</i> 'Columnaris' <i>Chamaecyparis lawsoniana</i> 'Elwoodii' <i>Chamaecyparis lawsoniana</i> 'Erecta viridis' <i>Cupressus sempervirens sempervirens</i> <i>Cupressus sempervirens</i> 'Stricta' <i>Juniperus chinensis</i> 'Blue'	<i>Juniperus chinensis</i> 'Keteleeri' <i>Picea omorika</i> <i>Pinus nigra</i> 'Pyramidalis' <i>Pinus sylvestris</i> 'Fastigiata' <i>Taxus baccata</i> 'Fastigiata' <i>Thuja occidentalis</i> 'Elegantissima'
¹ Esta árvore só deve ser utilizada em faixas contínuas ou caldeiras de largura igual ou superior a 3m.	

Tabela 2 – Exemplos de árvores de copa estreita (copa inferior a 4m)

4.2.2. Árvores de copa média-estreita

As árvores de copa média-estreita apresentam uma copa com **largura igual ou superior a 4m e inferior a 6m** aos 20–30 anos, já tendo em conta as restrições de crescimento causadas pelas condições desfavoráveis do contexto de arruamento. Apresentam-se de seguida, para o contexto em estudo, alguns exemplos pertinentes de árvores de copa média-estreita (Tabela 2). Para que se desenvolvam corretamente, sem gerarem conflitos com os outros elementos da rua, estas espécies necessitam de mais espaço do que as espécies de copa estreita:

- 1) **Largura da caldeira ou faixa permeável contínua:** deve ser considerada uma largura mínima de **2m** (CMP, 2020a).
- 2) **Distância entre eixo de implantação da árvore e limite lateral da rua:** o elemento arbóreo deve ser plantado a, pelo menos, **4m** do limite lateral da rua para garantir um afastamento mínimo de um metro entre a sua copa e as fachadas, na jovem idade adulta (20–30 anos).
- 3) **Compasso de plantação:** regra geral, recomenda-se que as árvores de copa média-estreita distem no mínimo de **6m**, em contexto de alinhamento. Este afastamento entre os indivíduos arbóreos permite que haja uma aproximação das copas nas fases mais avançadas do desenvolvimento da árvore, sem, no entanto, criar excessiva massa vegetal.

Estima-se que a placa radicular estrutural de uma árvore desta dimensão tenha cerca de 1,50m de raio (3m de diâmetro; Dicke, 2010); esta deve ser completamente preservada em caso de operações que envolvam a escavação do solo, de modo a garantir a integridade e sustentação física da árvore. Por outro lado, assume-se que a zona radicular crítica corresponda a cerca de 6m de diâmetro em relação ao centro da árvore (aproximação ao limite máximo da copa) e nesta zona também se recomenda a minimização das intervenções ao nível do solo (dentro do possível, nunca comprometendo mais de 30% destas raízes).

Árvores de Copa Média-Estreta	
Caducifólias	
<i>Acer campestre</i> 'Elsrijk' <i>Acer campestre</i> 'Red Shine' <i>Acer platanoides</i> 'Columnare' <i>Acer platanoides</i> 'Olmstead' <i>Acer rubrum</i> 'Karpick' <i>Aesculus hippocastanum</i> 'Fastigiata' <i>Alnus glutinosa</i> 'Pyramidalis' <i>Betula pendula</i> 'Fastigiata' <i>Betula pendula</i> 'Zwitsers Glorie' <i>Corylus colurna</i> <i>Corylus colurna</i> 'VDB Obelisk' <i>Fagus orientalis</i> 'Iskander' <i>Fagus sylvatica</i> 'Dawyck' <i>Fraxinus ornus</i> 'Obelisk' <i>Ginkgo biloba</i> 'Tremonia' <i>Liquidambar orientalis</i> <i>Liquidambar styraciflua</i> 'Fastigiata'	<i>Metasequoia glyptostroboides</i> <i>Populus alba</i> 'Bolleana' <i>Populus tremuloides</i> <i>Prunus mahaleb</i> <i>Prunus x hillieri</i> 'Spire' <i>Pyrus calleryana</i> 'Chanticleer' <i>Quercus palustris</i> 'Green Pillar' <i>Quercus robur</i> 'Fastigiata' <i>Salix alba</i> 'Liempde' <i>Sorbus aria</i> <i>Sorbus aria</i> 'Majestica' <i>Sorbus aucuparia</i> <i>Sorbus aucuparia</i> 'Wettra' <i>Tilia cordata</i> 'Böhje' <i>Tilia platyphyllos</i> 'Prince's Street' <i>Ulmus</i> 'Columella' <i>Zelkova serrata</i> 'Fastigiata'
Perenifólias	
<i>Abies alba</i> <i>Abies nordmanniana</i> <i>Brachychiton populneus</i> <i>Calocedrus decurrens</i> 'Aureovariegata'	<i>Casuarina equisetifolia</i> <i>Corymbia ficifolia</i> <i>Cupressus arizonica</i> 'Fastigiata' <i>Lagunaria patersonia</i>
¹Esta árvore só deve ser utilizada em faixas contínuas ou caldeiras de largura igual ou superior a 3m.	

Tabela 3 – Exemplos de árvores de copa média-estreta (copa igual ou superior a 4m e inferior a 6m)

4.2.3. Árvores de copa média-larga

As árvores de copa média-larga possuem uma **largura expectável da copa igual ou superior a 6m e inferior a 8m**, ao fim de 20–30 anos. A Tabela 3 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** apresenta alguns exemplos de árvores que se poderão adequar a esta categoria, no contexto das ruas do Porto. Para as árvores de copa média-larga são apresentadas as seguintes recomendações no que concerne à sua exigência em espaço (Figura 16):

- 1) **Largura da caldeira ou faixa permeável contínua:** a zona permeável onde se implanta a árvore deve ter uma largura mínima de **2m** (CMP, 2020a).
- 2) **Distância entre eixo de implantação da árvore e limite lateral da rua:** para garantir que a copa se mantenha afastada das fachadas adjacentes até à sua maturidade (20–30 anos), a árvore deve ser plantada a uma distância mínima de **5m** do limite da rua.
- 3) **Compasso de plantação:** tal como as árvores da categoria anterior, recomenda-se que as de copa média-larga distem, no mínimo, de **8m**, de modo que as suas copas se aproximem ao longo do seu crescimento.

Nas árvores desta dimensão, estima-se que a placa radicular estrutural se aproxime dos 2,20m de raio (4,40m de diâmetro) em relação ao centro da árvore (Dicke, 2010); nesta área não deve haver qualquer tipo de perturbação das raízes, evitando comprometer o suporte estrutural da árvore. Por outro lado, deve-se também procurar proteger a zona radicular crítica, que corresponderá a cerca de 6m de diâmetro ao redor do indivíduo arbóreo (aproximação ao limite máximo da copa).

Árvores De Copa Média-Larga	
Caducifólias	
<i>Acer campestre</i>	<i>Betula pubescens</i> ssp. <i>celtiberica</i>
<i>Acer campestre</i> 'Green Column'	<i>Carpinus betulus</i> 'Fastigiata'
<i>Acer hyrcanum</i>	<i>Fraxinus excelsior</i> 'Diversifolia'
<i>Acer pseudoplatanus</i> 'Erectum'	<i>Ginkgo biloba</i>
<i>Acer pseudoplatanus</i> 'Negenia'	<i>Ginkgo biloba</i> 'Autumn Gold'
<i>Acer pseudoplatanus</i> 'Rotterdam'	<i>Koelreuteria paniculata</i>
<i>Acer rubrum</i> 'Schlesingeri'	<i>Liriodendron tulipifera</i> 'Fastigiatum'
<i>Acer saccharinum</i> 'Pyramidale'	<i>Liriodendron tulipifera</i> 'Pyramidale'
<i>Aesculus hippocastanum</i>	<i>Melia azedarach</i>
<i>Aesculus hippocastanum</i> 'Pyramidalis'	¹ <i>Populus tremula</i>
<i>Aesculus x carnea</i>	<i>Prunus avium</i>
<i>Alnus glutinosa</i>	<i>Pyrus calleryana</i> 'Aristocrat'
<i>Betula ermanii</i>	<i>Taxodium distichum</i>
<i>Betula nigra</i>	<i>Tilia cordata</i> 'Greenspire'
<i>Betula pendula</i>	<i>Ulmus hollandica</i> 'Lobel'
Perenifólias	
<i>Cinnamomum camphora</i>	<i>Pinus nigra</i>
<i>Cryptomeria japonica</i>	<i>Pinus strobus</i>
<i>Magnolia grandiflora</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i>
¹ Esta árvore só deve ser utilizada em faixas contínuas ou caldeiras de largura igual ou superior a 3m.	

Tabela 4 – Exemplos de árvores de copa média-larga (copa igual ou superior a 6m e inferior a 8m)

4.2.4. Árvores de copa larga

As árvores de copa larga apresentam, na sua maturidade, uma **largura expectável de copa igual ou superior a 8m e inferior a 12m**. Apresentam-se alguns exemplos de espécies e cultivares que se integram nesta categoria, para o contexto da região do Porto (Tabela 5). Para as árvores de copa larga, reconhece-se a necessidade de exigência de mais espaço entre as árvores e entre estas e outros elementos da rua; recomenda-se o seguinte:

1) **Largura da caldeira ou faixa permeável contínua:** deve ser considerada uma largura mínima de **3m** (CMP, 2020a).

2) **Distância entre eixo de implantação da árvore e limite lateral da rua:** uma árvore larga deve ser plantada a uma distância mínima de **7m** do limite lateral da rua, de modo a assegurar que a copa mantém o devido afastamento das fachadas, considerando o seu crescimento num intervalo de tempo de 20–30 anos.

3) **Compasso de plantação:** considera-se que as árvores de copa larga conseguem compor um alinhamento equilibrado com entrechoque das copas, sem provocar constrangimentos visuais e funcionais na rua. Neste sentido, recomenda-se uma distância mínima de **10m**, para o compasso de plantação; este valor deriva da experiência e observação da arborização de arruamento no Porto, e foi obtido através do cálculo de uma interseção de 1/6 do diâmetro de cada copa.

Na sua jovem maturidade (20–30 anos), estima-se que a placa radicular estrutural destas árvores ocupará aproximadamente 2,90m em relação ao centro da árvore (5,80m de diâmetro), numa área onde deverá ser impedido qualquer tipo de dano a estas raízes. Também se aconselha a proteção das raízes localizadas na projeção da copa, numa área que se aproxima dos 12m de diâmetro; esta área corresponde à zona radicular crítica, que não deverá ser destruída em mais de 30% para garantir a sobrevivência e a integridade da árvore.

Árvores de Copa Larga	
Caducifólias	
<i>Acer platanoides</i>	<i>Fraxinus ornus</i>
<i>Acer pseudoplatanus</i>	<i>Liquidambar styraciflua</i>
<i>Acer rubrum</i>	<i>Liriodendron tulipifera</i>
<i>Acer saccharum</i>	¹ <i>Populus alba</i>
<i>Acer x freemanii</i>	¹ <i>Populus alba</i> 'Raket'
<i>Aesculus indica</i>	<i>Quercus coccinea</i>
<i>Alnus cordata</i>	<i>Quercus palustris</i>
<i>Alnus x spaethii</i> 'Spaeth'	<i>Quercus pubescens</i>
<i>Betula papyrifera</i>	<i>Sophora japonica</i>
<i>Carpinus betulus</i> 'Columnaris'	<i>Tilia cordata</i>
<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Tilia cordata</i> 'Erecta'
<i>Fraxinus americana</i> 'Autumn Purple'	<i>Tilia platyphyllos</i> 'Fastigiata'
<i>Fraxinus angustifolia</i>	<i>Tilia x europaea</i>
<i>Fraxinus angustifolia</i> 'Raywood'	<i>Tilia x europaea</i> 'Pallida'
<i>Fraxinus excelsior</i> 'Maxima'	<i>Ulmus</i> 'Homestead'
<i>Fraxinus excelsior</i> 'Atlas'	<i>Ulmus</i> 'Sapporo Autumn Gold'
Perenifólias	
<i>Cupressus lusitana</i>	<i>Pinus pinaster</i>
<i>Cupressus macrocarpa</i>	<i>Pinus sylvestris</i>
<i>Grevillea robusta</i>	
¹ Esta árvore só deve ser utilizada em faixas contínuas ou caldeiras de largura igual ou superior a 3m.	

Tabela 5 – Exemplos de árvores de copa larga (copa igual ou superior a 8m e inferior a 12m)

4.2.5. Árvores de copa muito larga

As árvores de copa muito larga possuem uma copa de **largura igual ou superior a 12m**, após 20 a 30 anos de crescimento, mesmo em contexto de arruamento. Para a zona do Porto, indicam-se aqui algumas árvores que apresentam estas dimensões (Tabela 6).

Devido às suas elevadas dimensões, esta categoria de árvores é bastante exigente no que respeita à ocupação da rua; propõe-se as seguintes recomendações espaciais:

1) **Largura da caldeira ou faixa permeável contínua:** deve ser considerada uma largura mínima de **3m** (CMP, 2020a).

2) **Distância entre eixo de implantação da árvore e limite lateral da rua:** para garantir que uma árvore muito larga consiga desenvolver-se com intervenções de manutenção pouco frequentes e mesmo assim garantir o devido afastamento das fachadas na sua jovem maturidade (20–30 anos), é necessário que o local de implantação diste, pelo menos, **9m** do limite da rua.

3) **Compasso de plantação:** tal como para as árvores largas, considera-se que um alinhamento de árvores muito largas consegue comportar alguma sobreposição das suas copas, sem prejuízo para a qualidade estética e funcional da rua. Deste modo, recomenda-se o valor mínimo de **13,30m** para o compasso de plantação (obtido a partir de uma interseção de 1/6 do diâmetro de cada copa).

Deve considerar-se uma zona de proteção total equivalente à dimensão da placa radicular estrutural, para minimizar o risco de queda destas árvores; na sua idade adulta, estima-se que o raio desta área circular esteja próximo dos 3,10m em relação ao centro da árvore (diâmetro de 6,20m). No mesmo sentido, terá também de ser tido em conta a zona radicular crítica, equivalente à área de projeção da copa, que se estima que possa atingir, ao fim de 20–30 anos, 16m ou mais; este valor corresponde à largura expectável da copa para grande parte das espécies de maiores dimensões na zona do Porto, para o intervalo de tempo considerado. A preservação desta zona radicular é também fundamental para a integridade e sobrevivência da árvore e qualquer intervenção ao nível do solo na sua proximidade deve prever a preservação de pelo menos 70% destas raízes.

Árvores de Copa Muito Larga	
Caducifólias	
<i>Acer saccharinum</i> <i>Acer saccharinum</i> 'Born's Gracious' <i>Carpinus betulus</i> <i>Celtis australis</i> <i>Fraxinus excelsior</i> <i>Ostrya carpinifolia</i> <i>Platanus orientalis</i> <i>Platanus x acerifolia</i> <i>Populus alba</i> 'Nivea'	<i>Populus nigra</i> <i>Quercus rubra</i> <i>Tilia platyphyllos</i> <i>Tilia tomentosa</i> <i>Ulmus glabra</i> <i>Ulmus minor</i> <i>Ulmus procera</i> <i>Zelkova serrata</i>
Perenifólias	
<i>Cedrus atlantica</i> <i>Cedrus libani</i> <i>Pinus pinea</i>	

Tabela 6 – Exemplos de árvores de copa muito larga (copa igual ou superior a 12m)

4.3. Classificação do tipo de alinhamento – Espacialização da arborização de arruamento

As árvores de arruamento podem surgir na rua de forma pontual ou em alinhamentos; no presente trabalho vai ser abordada exaustivamente a presença da árvore em **alinhamentos**, que podem variar em número e localização na rua. A abordagem refletida neste plano assume à partida que a arborização de qualquer rua no Porto não pode comprometer, de modo algum, os **fluxos essenciais**. A disposição da arborização revela a localização, a posição e o arranjo espacial das árvores e respetivos alinhamentos na rua. De um modo simplificado, em relação ao seu posicionamento na rua, considera-se que um alinhamento pode ser (Figura 13):

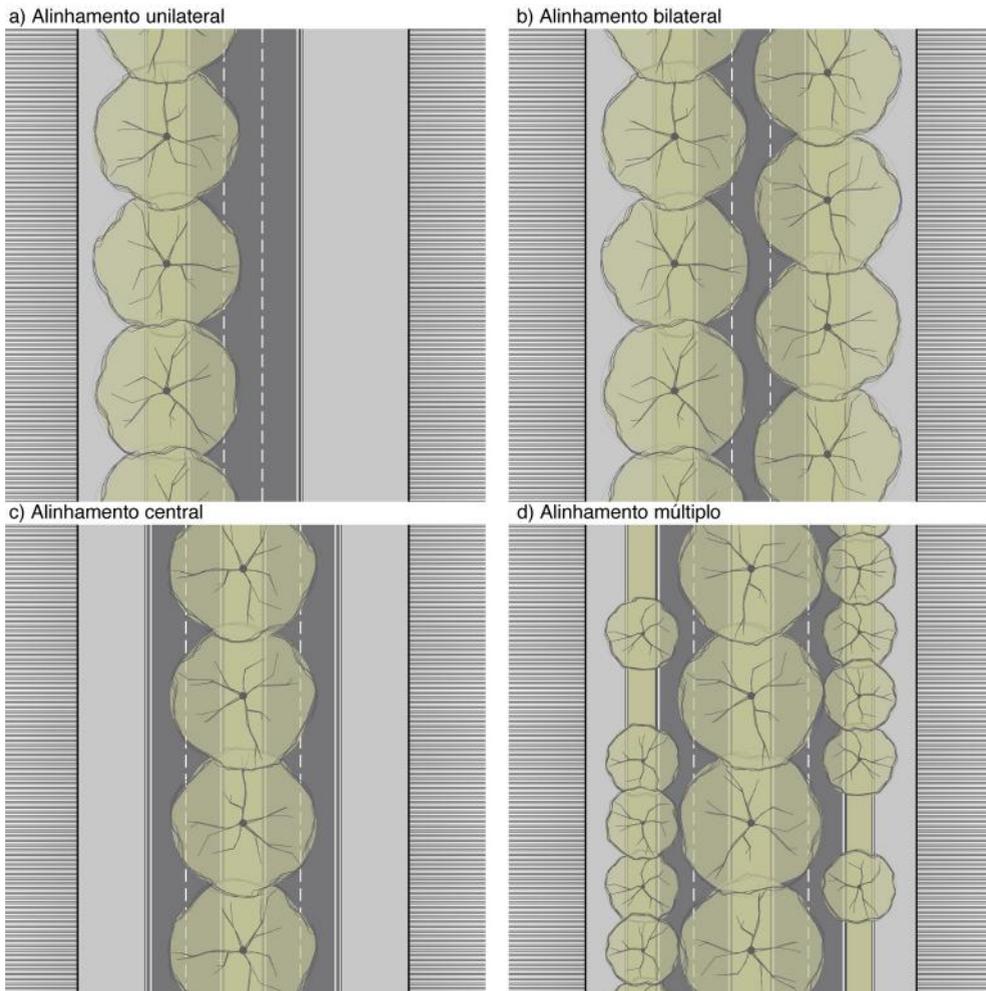


Figura 13 – Representação esquemática dos diferentes tipos de alinhamentos em relação ao seu posicionamento na rua

Alinhamento unilateral: compreende os alinhamentos de árvores que se localizam apenas num dos lados da rua, apresentando uma assimetria ao nível da arborização em corte transversal; criam uma separação entre um dos corredores pedonais e o corredor viário;

Alinhamento bilateral: compreende os alinhamentos de árvores que se localizam nos dois lados da rua, paralelamente ao longo do troço e apresentando simetria ao nível da arborização em corte transversal, o que se traduz na criação de uma separação entre os dois corredores pedonais e o corredor viário;

Alinhamento central: compreende os alinhamentos de árvores que se localizam sobre o eixo ou centro da rua, originando a criação de dois corredores viários, que serão adjacentes aos corredores pedonais;

Alinhamento múltiplo: compreende os alinhamentos de árvores que se localizam ao longo do troço em mais de dois locais da rua, não constituindo alinhamentos exclusivamente unilaterais, bilaterais ou centrais, o que se traduz geralmente em dois corredores pedonais e dois corredores viários, havendo uma separação óbvia entre todos os corredores.

Adicionalmente, um alinhamento pode ser singular ou duplo: 1) **alinhamento singular** formado por uma fileira de árvores; e 2) **alinhamento duplo** formado por duas fileiras de árvores. Estes alinhamentos podem ocorrer nas laterais ou no centro da rua. Quando surge mais do que um alinhamento na rua, estes podem distinguir-se por serem **emparelhados** ou **desfasados**, como ilustrado na Figura 14.

Considerando as dimensões dos corredores para fluxos essenciais, as dimensões das árvores (relativas à sua largura de copa) e as exigências de espaço para cada tipo de árvore, foram estudadas, de um modo expedito, diferentes soluções de arborização que variam essencialmente na dimensão da árvore e no seu posicionamento na rua.

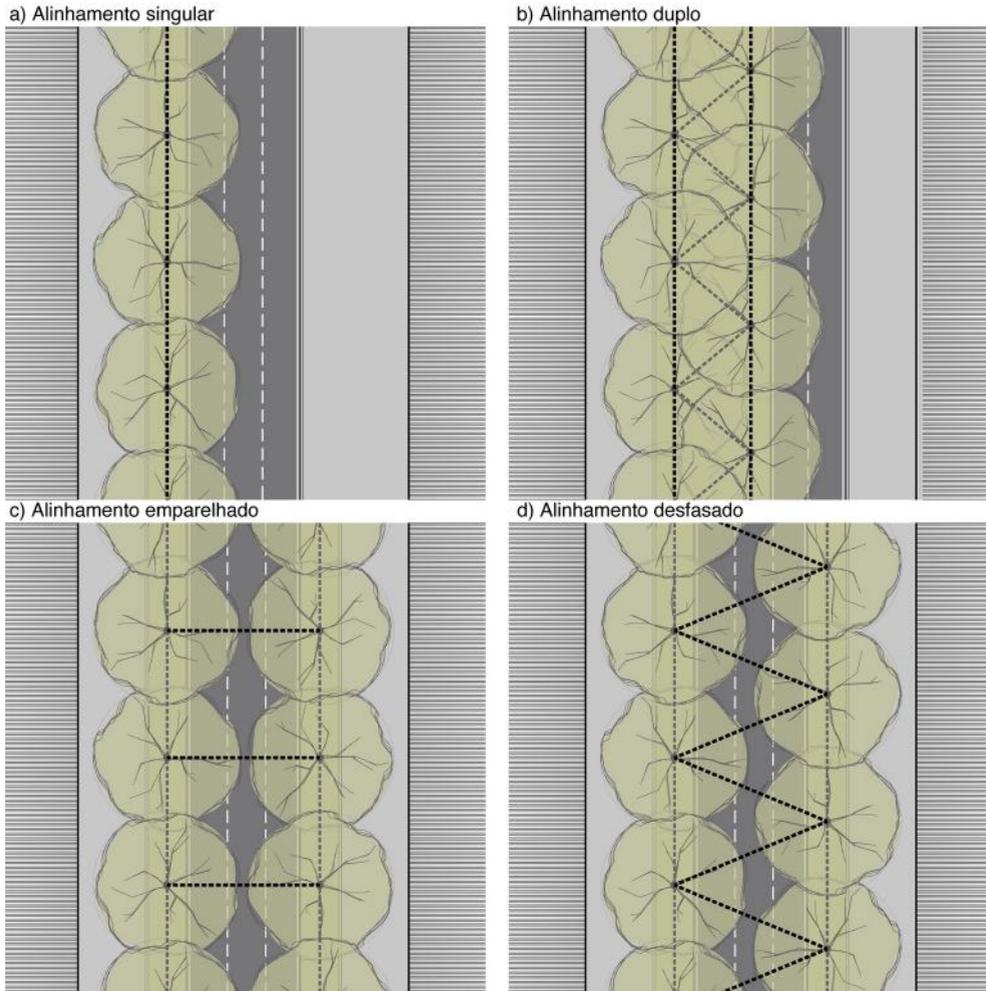


Figura 14 – Representação esquemática de características dos alinhamentos

4.4. Classificação das ruas de acordo com a sua largura

A largura da rua inclui todos os elementos constituintes dos corredores de circulação, como passeios, faixas de rodagem automóvel, ciclovias e zonas de estacionamento, considerando os seus limites até às fachadas dos edifícios ou limites das propriedades adjacentes. Devido aos constrangimentos de tempo e limitações das bases de dados disponibilizadas, foi adotado um método expedito para a classificação da largura das ruas, uma vez que seria impraticável medir a largura exata de todas as ruas da cidade. Com vista a organizar e facilitar a caracterização das ruas, foram criadas cinco classes de largura, obtidas através da **relação entre a largura da copa da árvore e a largura da rua**, como explicado no capítulo anterior na formulação da **hipótese da menor rua arborizada**.

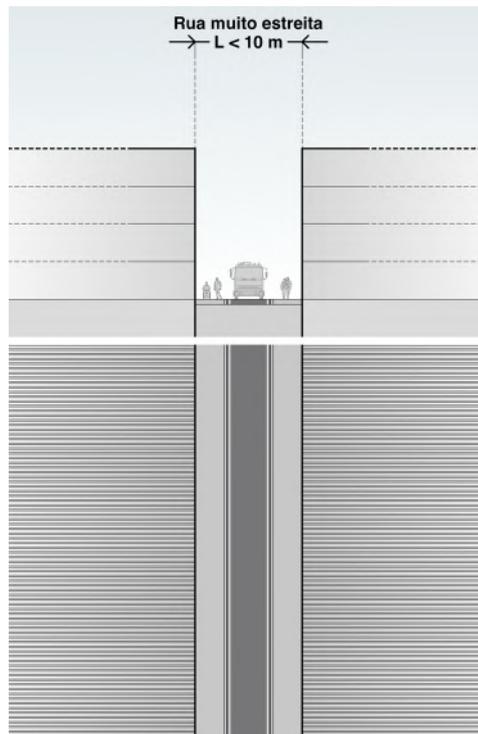


Figura 15 – Representação esquemática de uma rua muito estreita

Ruas muito estreitas (largura <10m):

Uma rua muito estreita apresenta uma largura inferior a 10m, o que será insuficiente para combinar um alinhamento de árvores de copa estreita (até 4m de largura), com um corredor pedonal ou viário que cumpram as dimensões mínimas.

Ruas estreitas ($10m \leq$ largura <14m):

Uma rua estreita manifesta uma largura igual ou superior a 10m, mas inferior a 14m, e também apresenta constrangimentos de espaço. No entanto, esta dimensão permite a combinação de um corredor pedonal com as dimensões mínimas, um canal viário que permite o acesso a veículos de emergência e um alinhamento de **árvores de copa estreita** (até 4m de largura), ou até dois alinhamentos se a posição dos indivíduos arbóreos for desfasada, garantindo também um metro de afastamento do limite da rua.

Ruas médias ($14m \leq$ largura <18m):

Uma rua média tem uma largura igual ou superior a 14m e inferior a 18m. Nestes casos, verifica-se oportunidade de fluxos semelhante aos das ruas anteriores, mas, aos corredores de circulação, poderão ser acrescentados um ou dois alinhamentos de **árvores de copa média** (de 4 a 8m de largura), garantindo sempre um metro de afastamento do limite da rua.

Ruas largas ($18m \leq$ largura <26m):

Uma rua larga apresenta uma largura igual ou superior a 18m e inferior a 26m. Verificam-se maiores oportunidades de espaço e consequentemente de fluxos e atividades; aos corredores de circulação pedonal e de veículos, poderão ser acrescentados um ou dois alinhamentos de **árvores de copa larga** (de largura superior a 8m), mantendo um metro de afastamento do limite da rua.

Ruas muito largas (largura \geq 26m):

Uma rua muito larga tem uma largura igual ou superior a 26m, o que permite uma grande flexibilidade de fluxos e atividades. A diversos corredores de circulação poderão ser integrados alinhamentos de **árvores de copa larga** (de largura superior a 8m) ou composições de alinhamentos de árvores de diversos tamanhos de copa, articulados entre si; em qualquer das situações, garante-se sempre, pelo menos, um metro de afastamento do limite da rua. Considerando as dimensões extraordinárias deste tipo de ruas, a arborização poderá também ser complementada com outros tipos de estrutura verde.

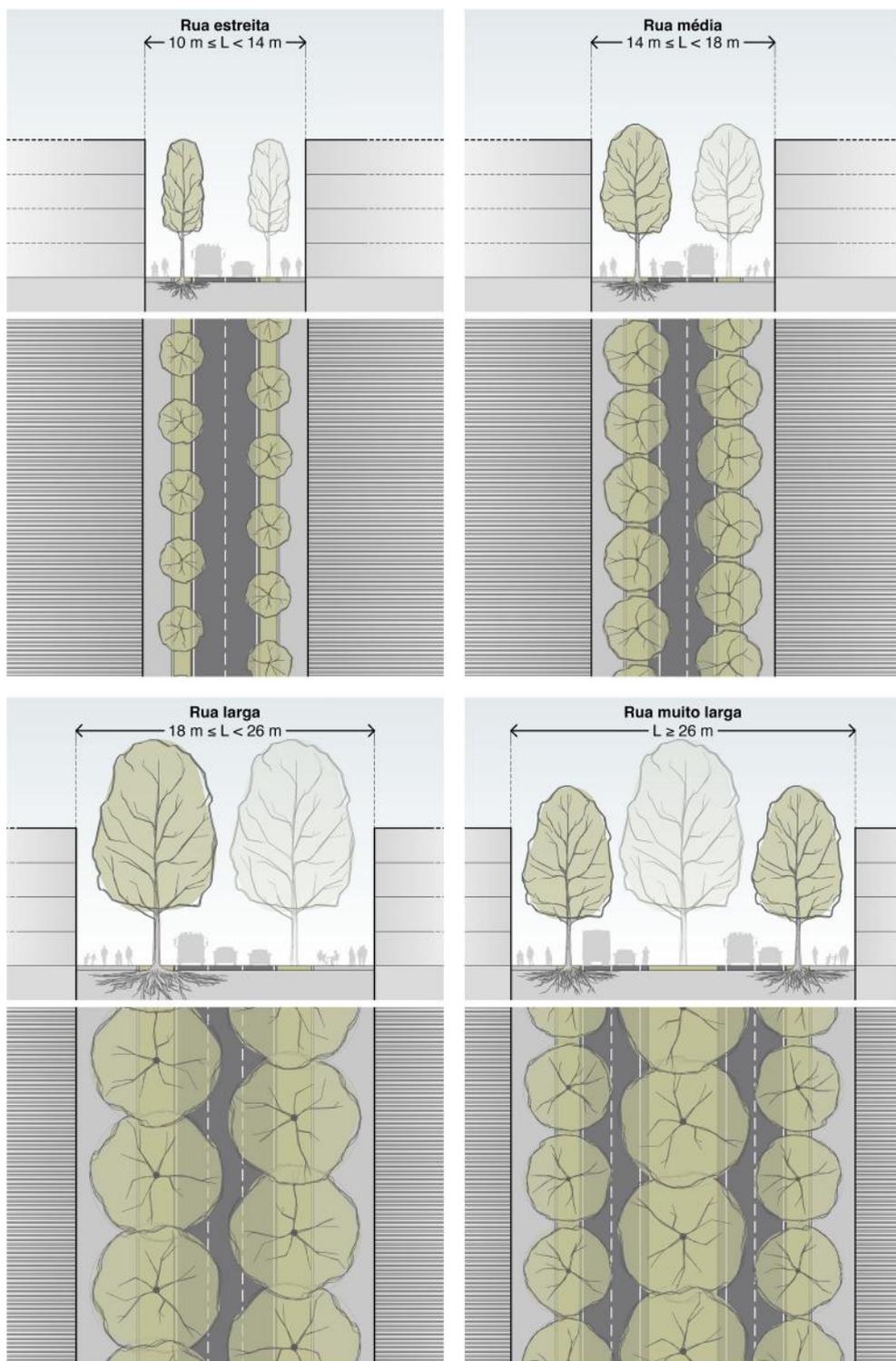


Figura 16 – Representação esquemática de ruas das seguintes classes de largura

5. Análise da situação existente

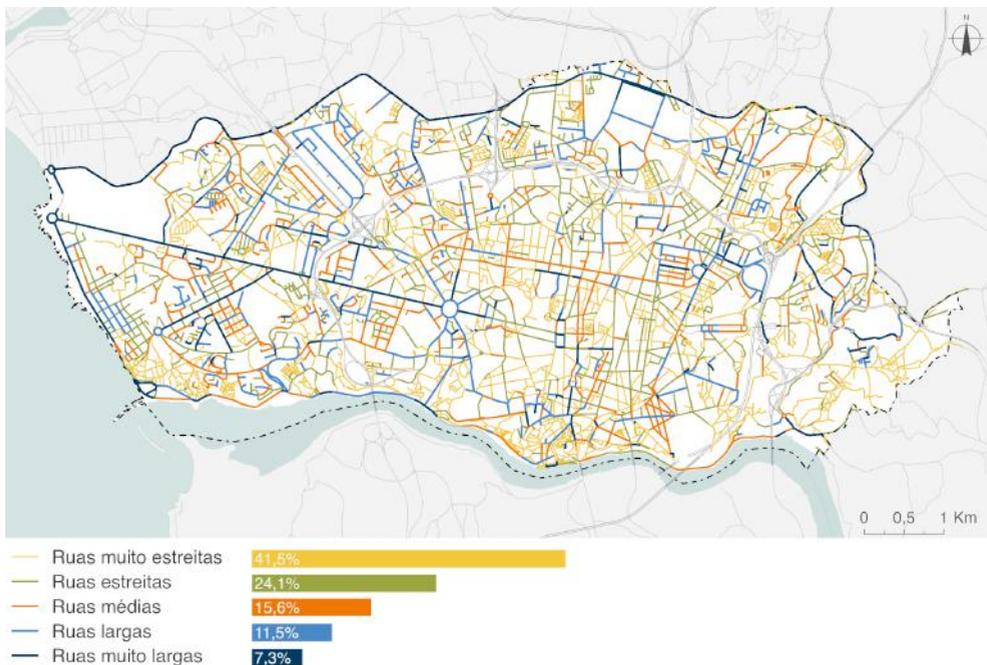
5.1. Caracterização das ruas da cidade do Porto

Na cidade do Porto foram identificados 3818 troços de rua que correspondem a 549,31km. A existência de inúmeros troços próximos da dimensão mínima mapeável (30m) revela a elevada complexidade e heterogeneidade desta malha. Como exemplo desta particularidade, pode referir-se o caso da Avenida da Boavista, um dos maiores eixos da cidade, mas que foi neste trabalho repartido em 11 troços diferentes devido à constante variação em relação à sua largura e tipo de arborização. Por outro lado, salienta-se a Avenida do Marechal Gomes da Costa (com 1,5km) que apresentam características uniformes ao longo de toda a sua extensão.

5.1.1. Largura das ruas

A classificação de todas as ruas do Porto de acordo com a sua dimensão **largura** resultou na trama apresentada na Figura 17 – Mapa das ruas classificadas de acordo com a sua largura. De um modo geral, as classes de largura mais reduzida são mais abundantes e as classes de largura elevada são mais escassas.

Figura 17 – Mapa das ruas classificadas de acordo com a sua largura



Ruas muito estreitas

As ruas com maior representatividade na cidade do Porto correspondem à classe das **ruas muito estreitas**, com dimensões de largura inferior a 10 metros, perfazendo 228,1km ou

41,5% das ruas da cidade. Estas ruas muito estreitas encontram-se dispersas por toda a cidade do Porto, havendo, contudo, uma concentração mais óbvia nos aglomerados urbanos mais antigos da cidade como o Centro Histórico e a Foz Velha. Fora destas zonas, a maioria destas ruas localizam-se em zonas habitacionais mais compactas, como os bairros de casas económicas de António Aroso, Amial, Condominhas, Paranhos, S. Roque da Lameira e Colónia Estêvão de Vasconcelos (Bairro dos Castelos), assim como em zonas que mantêm ainda um carácter marcadamente rural, como a área de Campanhã junto ao rio Torto (núcleos de Areias, Azevedo, Meiral e S. Pedro de Azevedo). Contudo, podemos também destacar nesta categoria ruas mais estruturantes ao nível da distribuição dos fluxos, como por exemplo a Rua da Vilarinha, Rua de Tânger, Rua do Tenente Valadim, troços da Rua de Pedro Hispano, Rua do Almada (Figura 18A), Rua do Bonjardim (Figura 18A) e troços da Rua de S. Roque da Lameira.

Figura 18A
Exemplos de ruas muito estreitas:



Rua do Almada



Rua do Bonjardim

Ruas estreitas

As **ruas estreitas** distribuem-se equitativamente por toda a cidade, em 132,1km (24,0% das ruas). Revelam-se nesta classe alguns eixos estruturantes dos principais fluxos da cidade, e ruas associadas a zonas de edificação isolada de habitação coletiva (por exemplo, os Bairros da Fonte da Moura, Dr. Nuno Pinheiro Torres, Regado e Outeiro) e habitação unifamiliar (por exemplo, o Bairro da Vilarinha). Algumas ruas importantes que se podem destacar são: 1) a oeste – Rua do Crasto, Rua do Molhe, troços da Rua do Marechal Saldanha e troços da Rua das Condominhas; 2) a norte e oriente, contribuindo para a ligação com os concelhos limítrofes – Rua Monte dos Burgos, Rua do Amial, Rua de Costa Cabral, troços da Rua de S. Roque da Lameira, Rua das Escolas, Rua do Falcão e Rua do Cerco do Porto; 3) no centro da cidade – Rua de Santa Catarina, Rua da Alegria, Rua de D. João IV, Rua de Santos Pousada, Rua da Boavista, troços da Rua de Passos Manuel (Figura 18B), Rua de Fernandes Tomás, Rua Antero de Quental, Rua de Latino Coelho e Rua Nova de S. Crispim.

Figura 18B
Exemplo de ruas estreitas:



Rua de Fez



Rua de Passos Manuel

Figura 19
Exemplos de ruas médias:



Rua de Sá da Bandeira



Rua de Faria Guimarães



Rua Dr. Corino de Andrade

Ruas médias

A classe de **ruas médias**, entre os 14 e os 18m de largura, corresponde a 85,7km, representando 15,3% da extensão total de ruas. Não parece haver um padrão claro na distribuição

destas ruas, existindo alguns eixos importantes ao longo de toda a cidade, como: 1) a oeste – troços da Rua de Gondarém, Rua de Diogo Botelho, Rua das Sobreiras, troços da Rua de Fez, Rua de Sagres, Rua do Lidador, Rua de Delfim Ferreira, Rua do Engenheiro Ezequiel de Campos, troços da Rua do Campo Alegre; 2) no centro – Rua da Restauração, troços da Rua Nova da Alfândega, Rua de Sá da Bandeira (Figura 19), troços da Rua de Passos Manuel, troços da Rua de Camões, troços da Rua de Faria Guimarães (Figura 19), Rua de Serpa Pinto, Rua da Constituição, Rua Alexandre Herculano; 3) a oriente – Avenida de Paiva Couceiro, Rua Dr. Corino de Andrade (Figura 19) e Rua de Nossa Senhora do Calvário. Nota-se também uma associação a algumas zonas residenciais com génese nos anos de 1940–1950, como o Bairro do Marechal Gomes da Costa, Bairro de Guerra Junqueiro e complexo urbanístico do Sul das Antas (a poente da Praça Dr. Francisco Sá Carneiro).

Figura 20
Exemplos de ruas largas:



Rua do Marechal Saldanha



Rua de Pinto Bessa



Avenida de Rodrigues de Freitas

Ruas largas

As **ruas largas**, com largura compreendida entre os 18 e os 26m, contabilizam 63,3km de ruas, o que corresponde a apenas 11,7% das ruas da cidade. Nesta categoria, encontram-se algumas das grandes avenidas do Porto, assim como outras artérias importantes: 1) a oeste: troço da Rua de Gondarém, troço da Rua do Marechal Saldanha (Figura 20), troços da Rua do Jornal de Notícias, Avenida do Dr. Antunes Guimarães, Avenida Vasco da Gama, Rua de S. João de Brito, Rua Cinco de Outubro, troços da Rua do Ouro e Rua de D. Pedro V; 2) a norte: Avenida da Cidade de Xangai, Avenida das Congostas, Avenida do

Conselho da Europa, Rua de João Andresen, troço da Rua de Faria Guimarães, troço da Rua do Dr. António Bernardino de Almeida, troço da Rua do Dr. Roberto Frias, troço da Rua de Augusto Lessa e Avenida dos Combatentes da Grande Guerra; 3) no centro: Rua de Nossa Senhora de Fátima, Rua de Júlio Dinis, Avenida de Rodrigues de Freitas (Figura 20), Avenida de Camilo e Rua de Mouzinho da Silveira; 4) a oriente: Avenida de Fernão de Magalhães, Rua de Pinto Bessa (Figura 20), Avenida da Cidade de León.

Ruas muito largas

A classe que corresponde a **ruas muito largas**, com dimensão igual ou superior a 26m, completa um total de 40,1km, apenas 7,3% das ruas do Porto. Nota-se uma preponderância deste tipo de ruas na zona ocidental da cidade, com a presença de grandes avenidas icónicas como a Avenida da Boavista, a Avenida do Marechal Gomes da Costa, a Avenida de Montevideu e a Avenida do Brasil. Embora com menos expressividade, esta classe está também presente a norte, representada pelas Alameda do Professor Hernâni Monteiro, Rua Alfredo Allen e Alameda de Eça de Queiroz; no centro salientam-se a Avenida dos Aliados, troço da Rua de Damião de Góis e troço da Rua de Gonçalo Cristóvão; a oriente destacam-se a Alameda das Antas, Alameda da Cruz Vermelha Portuguesa, Alameda de Cartes e Avenida Francisco Xavier Esteves (Figura 21).

Figura 21
Exemplos de ruas muito largas:



Rua de Damião de Góis



Avenida da Boavista

5.1.2. Arborização de arruamento

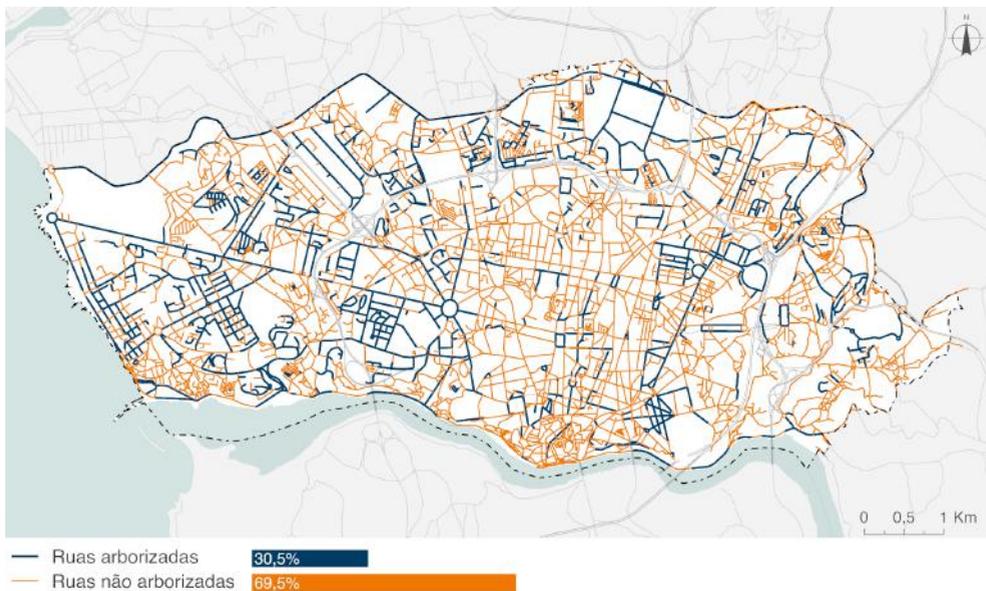
Ruas arborizadas e não arborizadas

Neste capítulo analisam-se as ruas da cidade do Porto de acordo com a presença de árvores, tendo sido classificadas em ruas arborizadas e ruas não arborizadas (ver definição proposta no capítulo 4.2), como ilustrado na Figura 22.

Na cidade do Porto existem 167,5km de **ruas arborizadas**, o que corresponde a 30,5% das ruas da cidade (Figura 22). A distribuição espacial das ruas arborizadas é bastante desigual na cidade, havendo uma clara concentração na zona ocidental, onde a arborização ocorre maioritariamente em grandes eixos como a Avenida da Boavista,

Avenida de Montevideu, Avenida do Brasil, Avenida do Marechal Gomes da Costa, Avenida do Dr. Antunes Guimarães, Rua de Diogo Botelho, Rua do Campo Alegre e Rua de Guerra Junqueiro (Figura 22); também ocorre em ruas de menor dimensão localizadas em zonas como o Bairro de Marechal Gomes da Costa, o Bairro de Guerra Junqueiro ou a Cooperativa SACHE. A norte destacam-se as ruas da Zona Industrial, das urbanizações da Prelada, envolvente do Hospital de S. João e Pólo universitário da Asprela. Na parte oriental da cidade, merecem referência a Avenida de Fernão de Magalhães, várias ruas da zona das Antas e as novas artérias de Campanhã (Rua Dr. Corino de Andrade, Alameda da Cruz Vermelha Portuguesa, Alameda de Cartes, Avenida Artur de Andrade, Avenida Francisco Xavier Esteves e Avenida da Cidade de León). No centro da cidade as ruas arborizadas são menos frequentes, mas podem destacar-se alguns eixos, já mencionados anteriormente, como a Rua de Damião de Góis, Rua de Sá da Bandeira, Rua de Gonçalo Cristóvão, Avenida dos Aliados e Avenida de Rodrigues de Freitas; deve notar-se também que uma parte substancial da arborização das ruas nesta zona parece está simultaneamente associada a espaços verdes emblemáticos como a Praça da República, Jardim de Carrilho Videira (Carregal), Jardim de João Chagas (Cordoaria) e o Jardim de Paulo Vallada.

Figura 22 – Mapa de presença de arborização de arruamento



A maioria das ruas da cidade do Porto está, assim, incluída na categoria de **ruas não arborizadas** (381,8km; 69,5%). Para além do Centro Histórico e Foz Velha, a maior concentração de ruas não arborizadas encontra-se na zona mais central da cidade (zona interior da Via de Cintura Interna – VCI), podendo referir-se alguns eixos importantes como a Rua de Monte dos Burgos, Rua de Oliveira Monteiro, Rua da Boavista, Rua de Pedro Hispano, Rua da Constituição, Rua do Amial, Rua de Vale Formoso, Rua de Antero de Quental, Rua do Barão de Forrester, Rua de Cedofeita, Rua do Bonjardim, Rua de Santa Catarina, Rua da Alegria, Rua de D. João IV, Rua de Costa Cabral e Rua do Bolhão (Figura 23).

Figura 23



Exemplo de rua arborizada: Rua de Guerra Junqueiro



Exemplo de rua não arborizada: Rua do Bolhão

A presença reduzida de ruas arborizadas na zona sudeste da cidade pode ser justificada pelas menores taxas de urbanização que aí se verificam; contudo, a árvore surge nesta zona como elemento dominante da paisagem, embora num contexto mais rural ou florestal.

Cruzando a classificação das ruas de acordo com a sua largura com a classificação das ruas de acordo com a presença de arborização, obtêm-se os resultados ilustrados no gráfico da Figura 24.

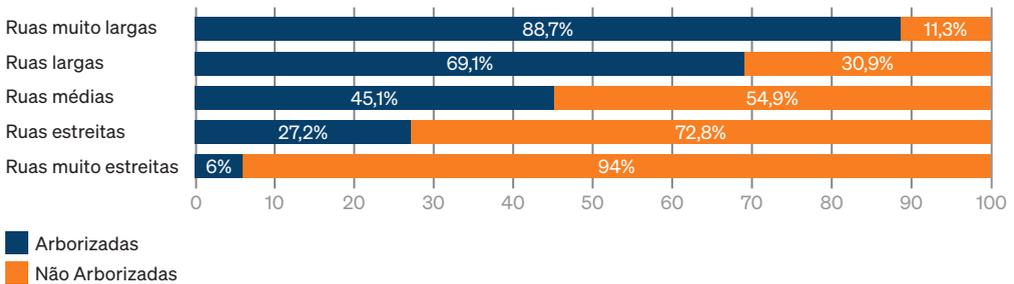


Figura 24 – Proporção de ruas arborizadas e ruas não arborizadas em cada classe de largura de rua

Como seria expectável, a grande maioria das ruas muito estreitas não são arborizadas (94,0%; 214,5km), contudo existem ainda algumas ruas com estas características que são arborizadas. É importante referir que a arborização nestas ruas surge geralmente associada a espaços verdes parcelares (ver capítulo 5.3), onde a árvore tem mais oportunidades para se desenvolver livremente, como é o caso da Rua de Manuel Bandeira (Figura 25). Existem também casos particulares de ruas muito estreitas onde a arborização surge dentro do espaço-canal (não associada a qualquer espaço parcelar), posicionando-se a árvore no centro da rua, como sucede na Rua de Santa Maria (Figura 25).

De modo semelhante, as ruas estreitas também são predominantemente não arborizadas (72,8%; 96,2km). As ruas médias dividem-se de forma mais equitativa entre ruas arborizadas (45,0%; 38,6km) e ruas não arborizadas (55,0%; 47,1km). No caso das ruas largas e muito largas, nota-se já uma preponderância de ruas arborizadas: 69,1% das ruas largas são arborizadas e 88,7% das ruas muito largas são arborizadas.

Figura 25



Exemplos de rua muito estreita arborizada:
Rua de Manuel Bandeira



Exemplos de rua muito estreita arborizada:
Rua de Santa Maria



Exemplos de rua estreita arborizada:
Avenida Flor da Rosa



Exemplos de rua média arborizada:
Rua de Sá da Bandeira



Exemplos de rua larga arborizada:
Alameda de 25 de Abril



Exemplos de rua muito larga arborizada:
Rua de Gonçalo Cristóvão

Espécies de árvores de arruamento

Para a contagem do número de indivíduos, teve-se por base o inventário arbóreo disponibilizado pelo município (datado de maio de 2021) e obtiveram-se 20 154 árvores que participam no conjunto das ruas do Porto, o que corresponde a cerca de 30% do arredo da cidade.

A mesma base de dados foi utilizada para o estudo da diversidade da população de árvores de arruamento. Foram feitas algumas correções aos nomes científicos das espécies de forma a serem utilizados os nomes aceites nas bases de dados oficiais da flora mundial (WFO, 2021).

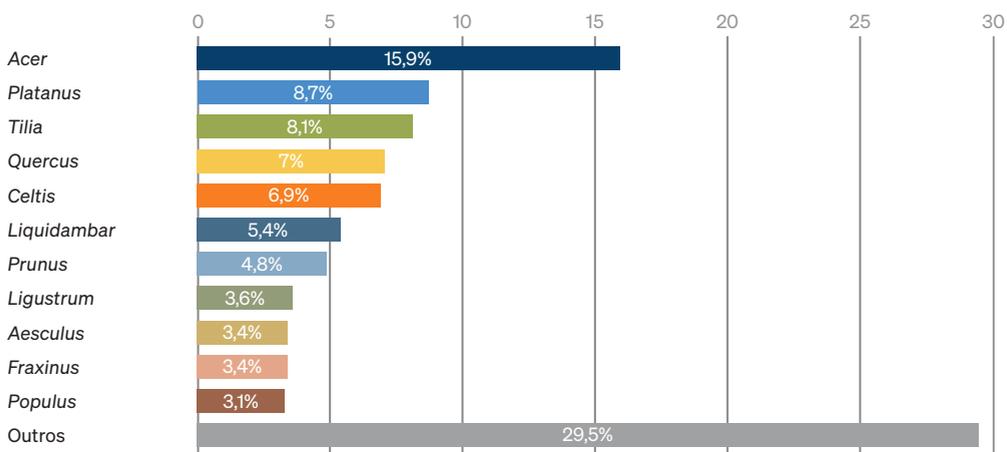


Figura 26 – Gráfico da população de árvores de arruamento distribuída por género

	Extensão de ruas (km)	Proporção das ruas arborizadas (%)
<i>Platanus x acerifolia</i>	14,7	9,5%
<i>Celtis australis</i>	13,6	8,7%
<i>Acer negundo/A.n. var. variegatum</i>	12,6	8%
<i>Liquidambar styraciflua</i>	7,5	4,8%
<i>Tilia x europaea</i>	7,2	4,6%
<i>Quercus rubra</i>	6,2	4%
<i>Acer pseudoplatanus</i>	5,9	3,8%
<i>Prunus cerasifera/P.c. var. atropurpureum</i>	4,8	3,1%
<i>Aesculus hippocastanum</i>	4,8	3,1%
<i>Ligustrum japonicum</i>	4,7	3%
<i>Acer platanoides</i>	4,3	2,7%
<i>Populus nigra</i>	4,2	2,7%
Outras espécies	66	42,1%
Total de ruas arborizadas	157,1	100%

Figura 27 – Quantificação das espécies de arruamento dominantes em cada troço de rua

No Porto foram contabilizadas 45 famílias, 102 géneros e 219 espécies de árvores associadas às ruas da cidade. As **famílias** mais representadas são as seguintes: Sapindaceae (19,3%), Malvaceae (9,9%), Platanaceae (8,7%), Fagaceae (8,0%), Oleaceae (7,1%) e Celtidaceae (6,9%). Os **géneros** mais representados são: *Acer* (15,9%), *Platanus* (8,7%), *Tilia* (8,1%), *Quercus* (7,0%), *Celtis* (6,9%) e *Liquidambar* (5,4%; Figura 26).

A análise das espécies mais abundantes foi igualmente feita para cada uma das ruas. Na Figura 27, pode verificar-se que as **espécies mais abundantes ao nível de cada rua** são: *Platanus x acerifolia*, *Celtis australis*, *Acer negundo*, *Liquidambar styraciflua*, *Tilia x europaea* e *Quercus rubra*. Estas 6 espécies constituem 35,3% da população total de árvores de arruamento, surgindo como espécie dominante em 61,8km de troços de rua.

Deve também referir-se que, das 219 espécies de árvores de arruamento, apenas 100 foram consideradas dominantes na rua. Isto deve-se ao facto de algumas espécies terem apenas uma presença pontual ou constituírem apenas pequenos alinhamentos com pouca relevância na extensão total do troço de rua. Existem espécies que são abundantes ao nível do conjunto das ruas da cidade, contudo, nunca manifestam carácter dominante ao nível de cada rua; isto é, estão presentes em muitas ruas, mas em número reduzido em cada uma delas. Destaca-se o exemplo da *Thuja plicata*, da qual se registaram 389 exemplares no conjunto das ruas da cidade, mas esta só é dominante em apenas nove troços de rua.

Figura 28

Exemplos de espécies de arruamento relevantes na cidade:



Acer pseudoplatanus,
Alameda de 25 de Abril



Prunus cerasifera var. *atropurpureum*,
Rua de Soares de Passos



Celtis australis, Rua do Dr. José de Figueiredo



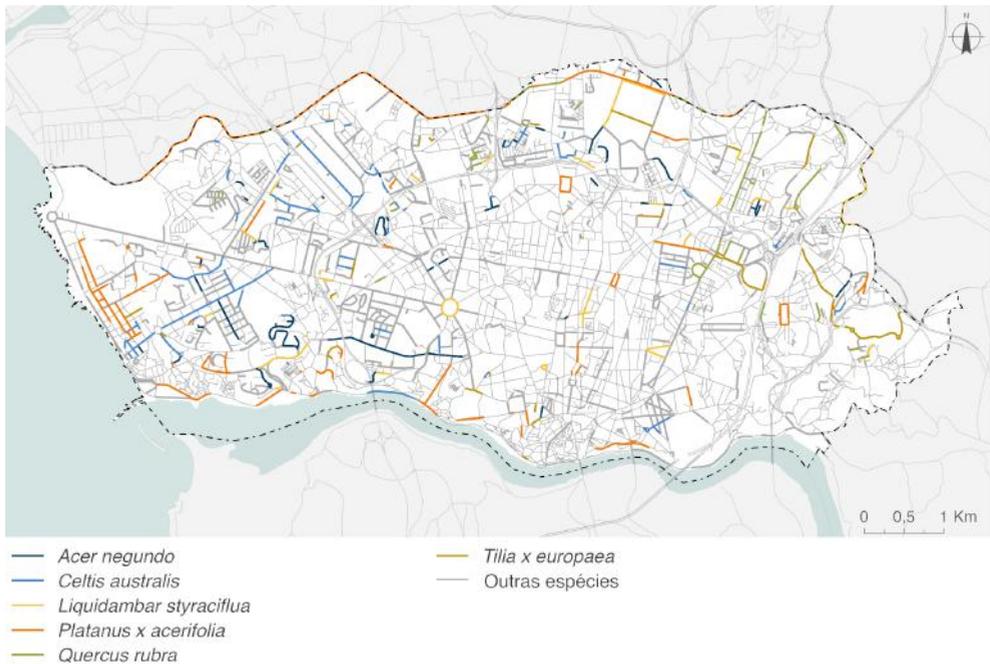
Platanus x acerifolia, Rua de Camões



Figura 28 – Exemplos de espécies de arruamento relevantes na cidade:
Liquidambar styraciflua, Rua de Faria Guimarães

Analisando os padrões espaciais da distribuição das **principais espécies dominantes em cada rua** (Figura 29), verifica-se uma maior ocorrência destas espécies na zona ocidental, onde se podem destacar as ruas da Foz Nova (Rua de Gondarém, Rua do Marechal Saldanha, Rua do Crasto) arborizadas com *Platanus x acerifolia*, a Rua de Fez e a Avenida do Marechal Gomes da Costa arborizadas com *Celtis australis*, e a Rua do Campo Alegre arborizada com *Acer negundo*. Nas zonas norte e oriental da cidade, também se verifica a presença das principais espécies dominantes ao longo de eixos importantes; são exemplo disso a Avenida de Fernão de Magalhães, predominantemente arborizada com *Quercus rubra*, e as novas avenidas de Campanhã (Alameda das Antas, Alameda de Cartes, Avenida Francisco Xavier Esteves), dominadas por *Tilia x europaea*.

Figura 29 – Mapa das espécies dominantes em cada rua



Para cada rua arborizada, a espécie dominante é seguidamente caracterizada de acordo com vários parâmetros: largura expectável da copa, sazonalidade, origem e estatuto de espécie invasora.

Um dos parâmetros mais relevantes no âmbito do presente trabalho consiste na **largura expectável da copa**, cuja distribuição pode ser observada na Figura 36. A análise feita permitiu concluir o seguinte:

As espécies de copa muito larga (superior a 12m) são as mais abundantes na cidade, sendo dominantes em 31,8% das ruas arborizadas da cidade, como são exemplos algumas ruas da Foz Nova e grandes avenidas das Antas e Campanhã;

As espécies de copa larga (entre 8 e 12m) são dominantes em 26,3% das ruas, tendo uma maior expressividade nas zonas do Fluvial, Campanhã e Campus Universitário da Asprela, e ainda a Avenida da França;

As espécies de copa média-larga (entre 6 a 8m) são dominantes em 20,1% das ruas arborizadas, apresentando maior concentração na zona das ruas do Campo Alegre e de Guerra Junqueiro, no Bairro Gomes da Costa, na Avenida do Dr. Antunes Guimarães e na Avenida de Fernão de Magalhães;

As espécies de copa média-estreita (entre 4 e 6m) são dominantes em apenas 13,3% das ruas, encontrando-se dispersas um pouco por toda a cidade, como na rua do Eng. Carlos Amarante, em troços da Avenida da Boavista e Rua de Gonçalo Cristóvão;

As espécies de copa estreita (inferior a 4m) são as que apresentam menor representatividade na cidade, sendo dominantes em apenas 8,4% das ruas, podendo-se destacar a Rua de Júlio Dinis, a Rua de Cinco de Outubro, um troço da Avenida da Boavista e a Via Futebol Clube do Porto.

A relação entre a largura da copa da árvore e a largura da rua é salientada neste trabalho como uma das principais condicionantes à arborização de arruamento, o que conduziu à análise cruzada destes dois parâmetros (Figura 37). Os resultados sugerem que não existe uma distinção óbvia das diferentes classes de largura de rua de acordo com as classes de árvores existentes, sendo que existe uma dominância de espécies de copa larga e muito larga em todas as classes de largura de rua. As árvores de copa média (média-estreita e média-larga), apesar de apresentarem dominância nas classes de ruas muito estreitas, estreitas e médias, a par das árvores de copa larga e muito larga, perdem representatividade nas classes de ruas largas e muito largas. Também se verifica que, quanto mais larga a rua, maior a dominância de espécies de copa mais larga. À parte disso e ao contrário do que seria esperado, não existe outra relação óbvia entre a largura expectável da copa e a largura da rua, sendo que as classes de largura de copa mais estreitas não têm representatividade em nenhuma das classes de ruas mais reduzidas.

Figura 30 – Mapa de ruas arborizadas classificadas pela largura expectável da copa da espécie dominante

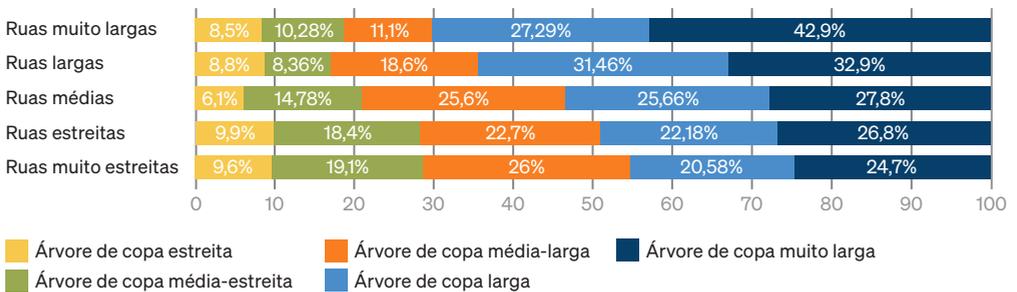
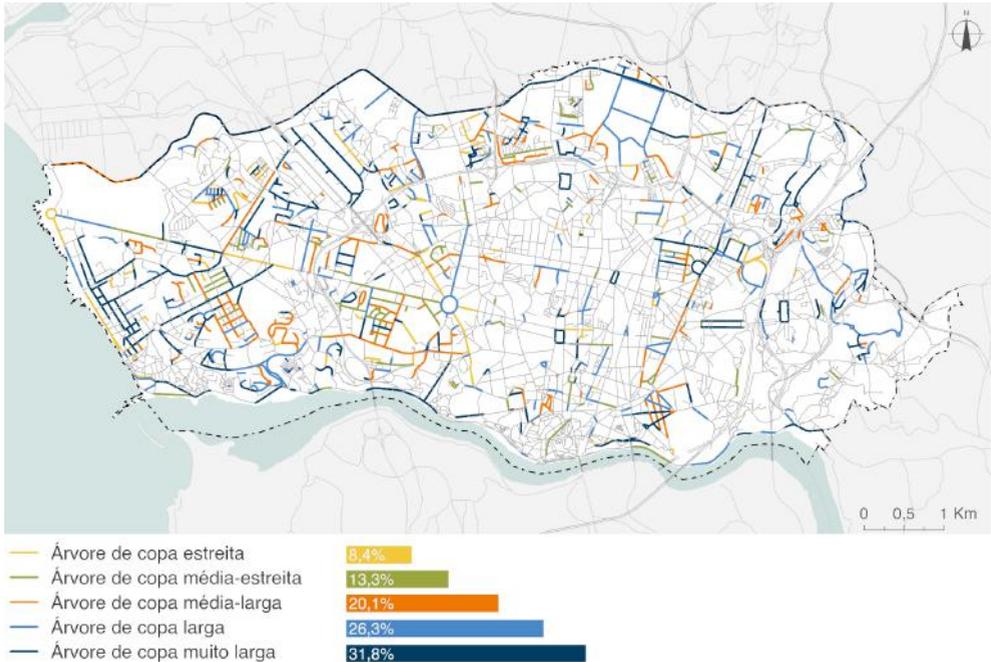


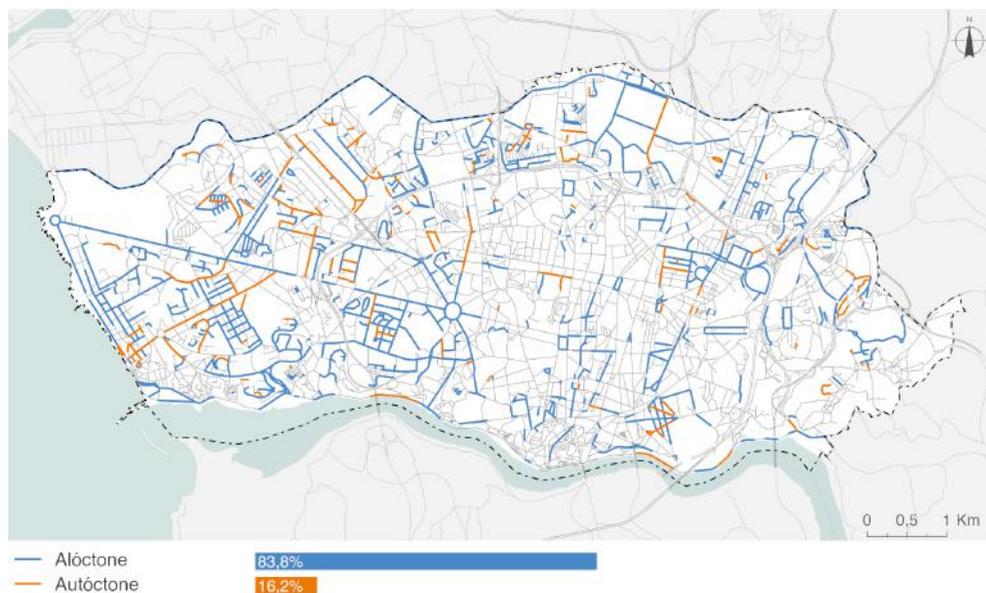
Figura 31 – Proporção de ruas arborizadas classificadas de acordo com a sua largura e a largura expectável da copa da espécie dominante

A **sazonalidade** da espécie dominante de cada rua é também um fator a ter em conta. A Figura 32 revela que a maioria das ruas do Porto são predominantemente arborizadas com espécies de folha caduca (89,2%), existindo apenas algumas exceções, como por exemplo, a Avenida de Montevideu, arborizada com *Metrosideros excelsa*, ou a Rua de Júlio Dinis e a Rua de Cinco de Outubro, arborizadas com *Ligustrum lucidum/japonicum*, ambas espécies perenifólias.

Figura 32 – Mapa das ruas arborizadas classificadas segundo a sazonalidade da espécie dominante



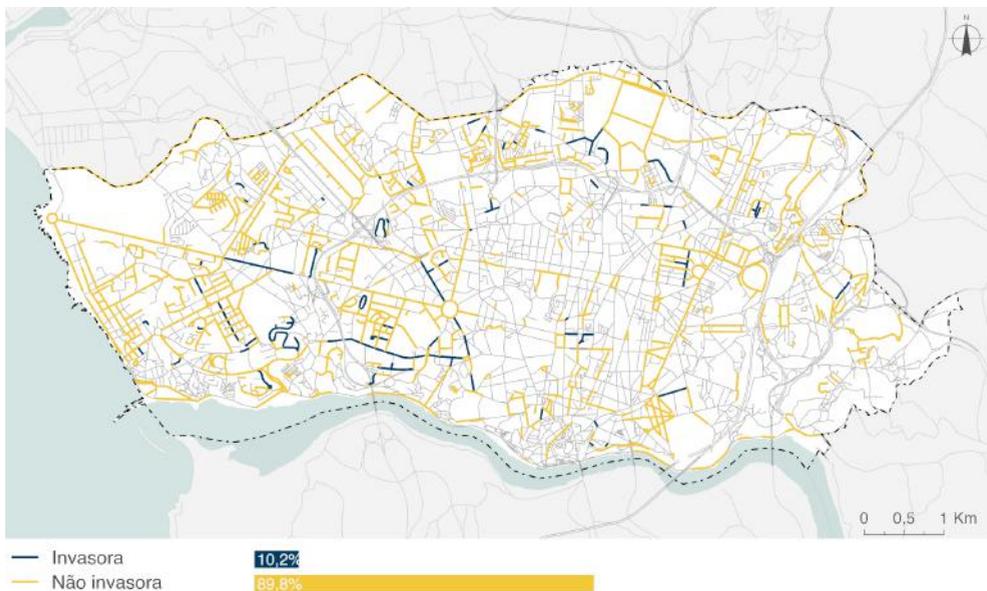
Figura 33 – Mapa das ruas arborizadas classificadas segundo a origem da espécie dominante



As espécies dominantes foram também classificadas de acordo com a sua **origem** (Figura 33). Os resultados revelam que cerca de 80% das ruas arborizadas recorrem a espécies alóctones, ou seja, espécies que não são naturais do nosso território. Podem aqui salientar-se alguns casos em que foram selecionadas espécies autóctones para a arborização de arruamento, como a Avenida Marechal Gomes da Costa e a Avenida de Vasco da Gama, ambas com *Celtis australis*, a Rua de S. João de Brito com *Acer pseudoplatanus*, um troço da Rua de Damião de Góis com *Populus alba* e um troço da Rua António Cardoso e a Rua do Dr. Roberto Frias, ambas com *Fraxinus angustifolia*.

Por outro lado, a Figura 34 mostra que cerca de 10% das ruas arborizadas, são dominadas por espécies classificadas como **espécies invasoras**, segundo o Decreto-Lei n.º 92/2019, potencialmente contribuindo para a propagação destas espécies problemáticas na generalidade do território. As espécies invasoras que dominam a arborização de algumas ruas são: *Acer negundo*, *Acacia longifolia*, *Eucalyptus globulus*, *Albizia julibrissin* e *Robinia pseudoacacia*. Desta lista, destaca-se o *Acer negundo* que constitui uma das árvores de arruamento mais abundantes na cidade, marcando a presença, por exemplo, na Rua do Campo Alegre, Rua de Paulo da Gama, Rua de Oliveira Martins, Avenida de Camilo e Rua do Peso da Régua. Será necessário vigiar esta espécie e o seu comportamento de forma a determinar qual o risco que pode apresentar, recomendando-se que se desenvolvam estudos mais aprofundados.

Figura 34 – Mapa das ruas arborizadas classificadas segundo o estatuto da espécie dominante



Tipos de alinhamentos de arborização

Quanto ao tipo de alinhamento da arborização (Figura 35), verificou-se que 44,7% das ruas arborizadas apresentam alinhamentos bilaterais e 40,5% apresentam alinhamentos unilaterais.

A zona ocidental da cidade apresenta uma maior densidade de ruas arborizadas bilateralmente, onde se pode destacar, por exemplo, a Avenida do Dr. Antunes Guimarães, Rua do Crasto, Rua do Marechal Saldanha, Rua de S. João de Brito e Rua de Cinco de Outubro, Rua de António Cardoso, Rua do Campo Alegre e Rua de Guerra Junqueiro. A zona norte possui também alguns eixos importantes com esta configuração, como a Rua do Dr. António Bernardino de Almeida, Rua do Dr. Roberto Frias, Avenida de Fernão de Magalhães e Rua Dr. Corino de Andrade (Figura 36).

As ruas arborizadas unilateralmente encontram-se dispersas por toda a cidade, não se concentrando especialmente em nenhuma área. Alguns exemplos de ruas arborizadas unilateralmente são a Rua de António Patrício, a Avenida Paiva Couceiro, a Rua do Barão de S. Cosme e Rua do Barão de Nova Sintra (Figura 36).

Os alinhamentos centrais e múltiplos são pouco abundantes na cidade e ocorrem em casos especiais. Ruas como a Avenida dos Combatentes da Grande Guerra, a Avenida de Camilo, a Alameda de Cartes e a Avenida do Marechal Gomes da Costa são casos emblemáticos onde as árvores surgem num alinhamento no centro da rua, tanto único como duplo (Figura 36). Os casos de alinhamentos múltiplos são muito escassos e resumem-se a situações como a Rua da Venezuela, a Avenida da Boavista (sobretudo a este da rotunda da Boavista), a Alameda das Antas e a Avenida do Bessa, em que a arborização surge num separador central e nas laterais do arruamento.

Figura 35 – Mapa das ruas arborizadas segundo o tipo de alinhamento da arborização

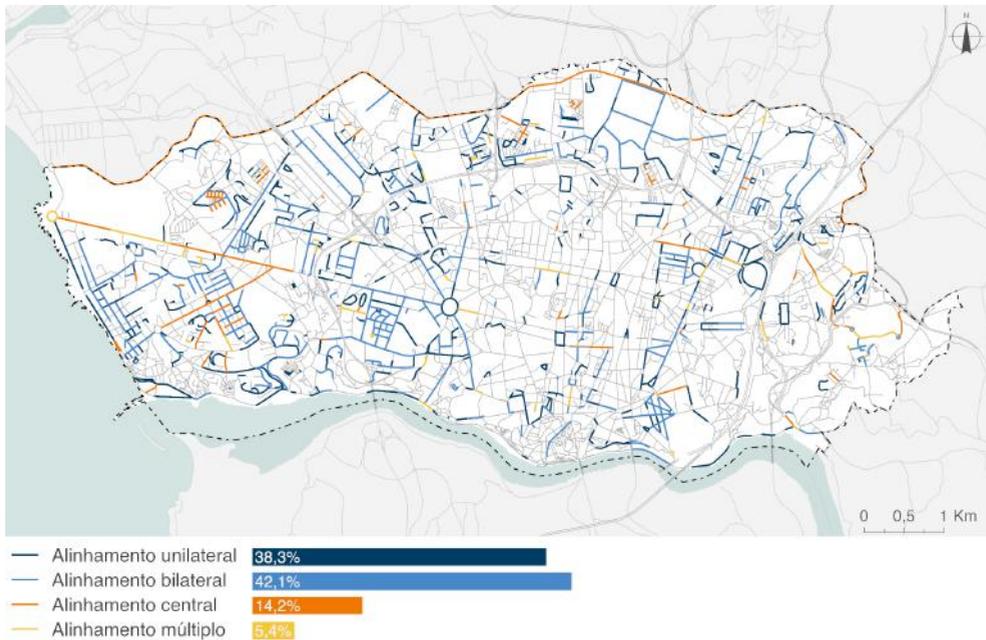


Figura 36
Exemplos de ruas com:



alinhamento unilateral: Rua do Barão de Nova Sintra,
arborizada com *Grevillea robusta*)



alinhamento bilateral: Rua Dr. Corino de Andrade,
arborizada com *Tilia x europaea*



alinhamento central: Avenida de Camilo,
arborizada com *Acer negundo*;



alinhamento múltiplo: Avenida da Boavista,
arborizada com *Ceiba speciosa*,
Platanus x acerifolia e *Pinus pinea*.

5.2. Contexto bioclimático das ruas da cidade do Porto

O contexto climático urbano portuense

Começamos então pela mesoescala caracterizando o contexto climático portuense atual (Figura 37). A sucessão de estados de tempo no Porto resulta da sua localização geográfica (41°N; 8°W) e da reconfiguração artificial esculpida ao longo dos seus mais de vinte séculos de história a partir do pequeno aglomerado celta existente na foz do rio Douro – *Portus Cale* (sec.I a.c).

Estando no NW da Península Ibérica, na faixa costeira atlântica, o Porto sofre a influência da corrente zonal de oeste que, depois de atravessar as Montanhas Rochosas tem um longo trajeto marítimo, e tem aqui o seu primeiro contacto com uma área continental. As características deste fluxo de ar, à chegada ao litoral português, dependem do posicionamento e dos atributos momentâneos de um importante aparelho barométrico – o Anticiclone dos Açores – que ora lhe facilita, ora lhe dificulta a aproximação com as características que foi adquirindo no seu longo trajeto oceânico. Para além destes dois atores, a contiguidade a duas massas continentais compactas – a Península Ibérica e o

Norte de África – promotoras da formação frequente de aparelhos barométricos de origem térmica diversos na estação quente e na estação fria, fazem com que o Porto, apesar de pertencer ao subtipo climático Atlântico (Daveau, 1988) assista frequentemente, consoante a situação sinóptica presente, a condições de conforto termo-higro-anemométrico bastante distintas (CMP, 2018a) (Figura 38).

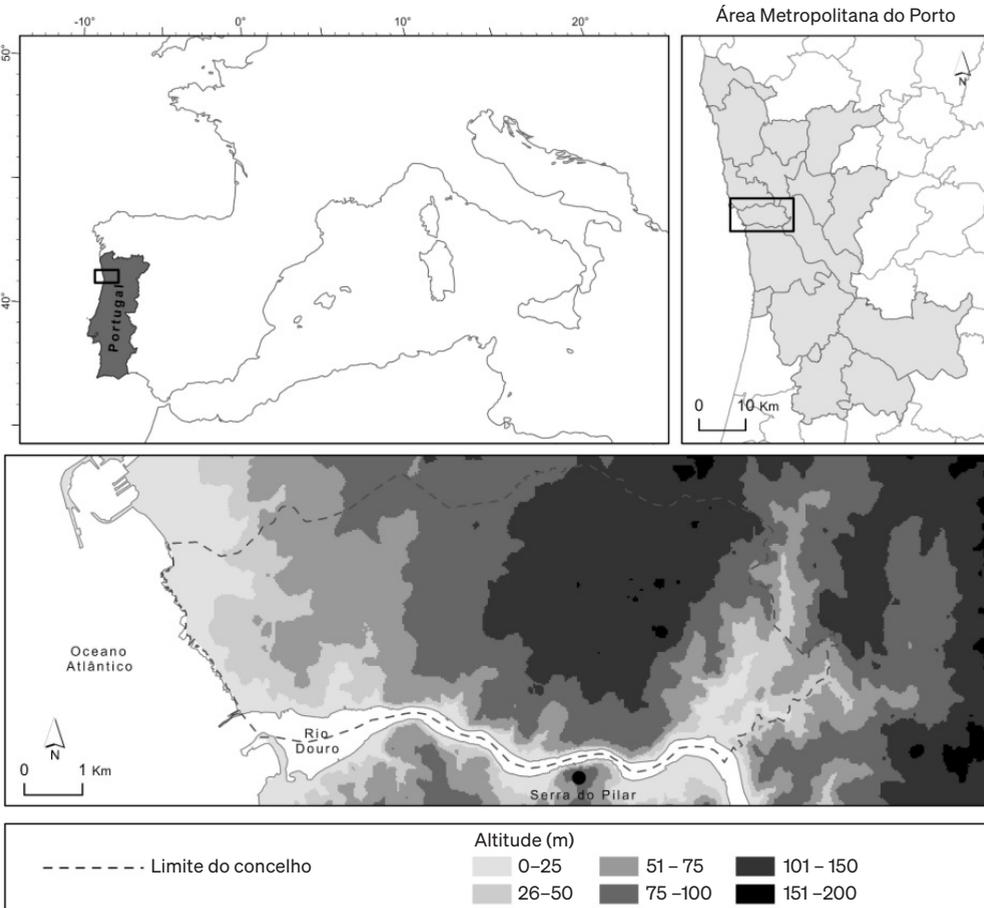
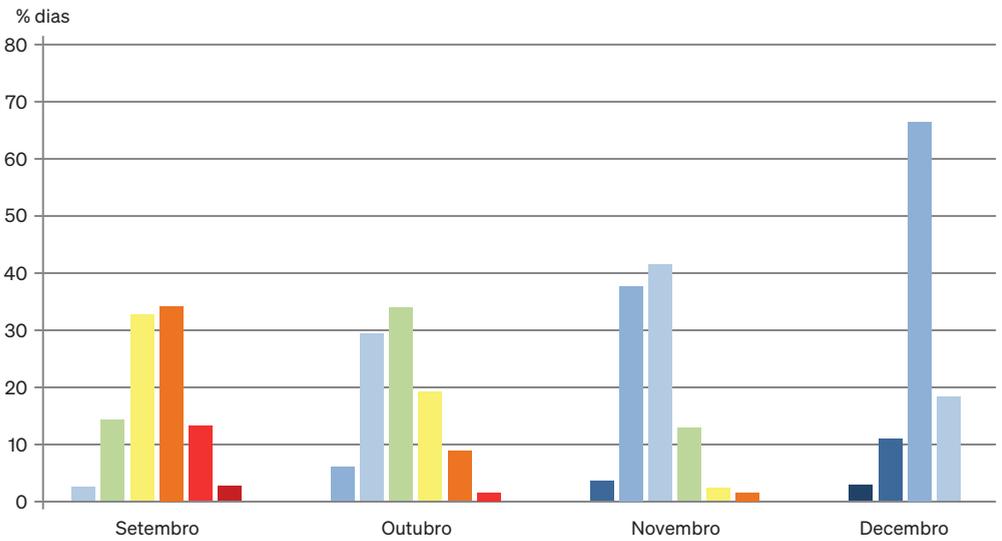
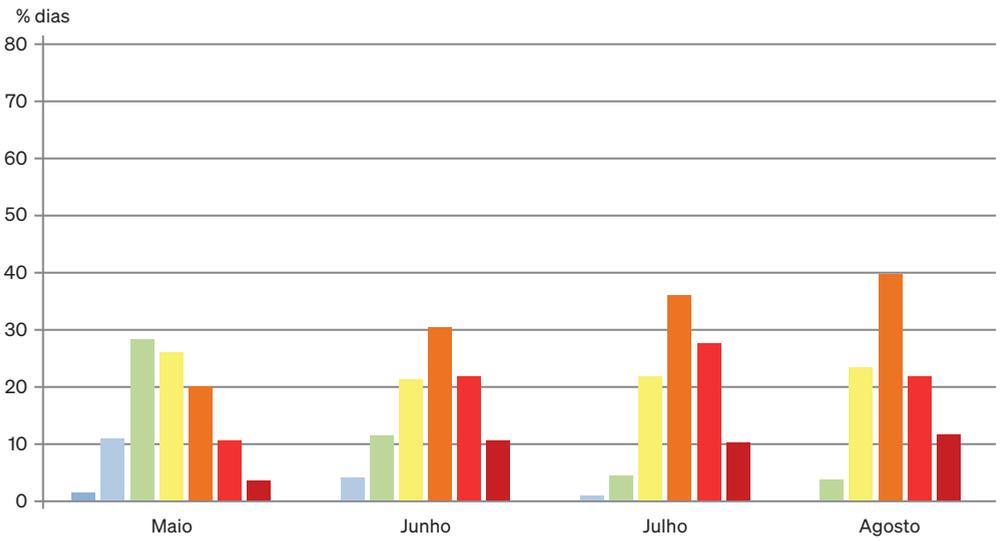
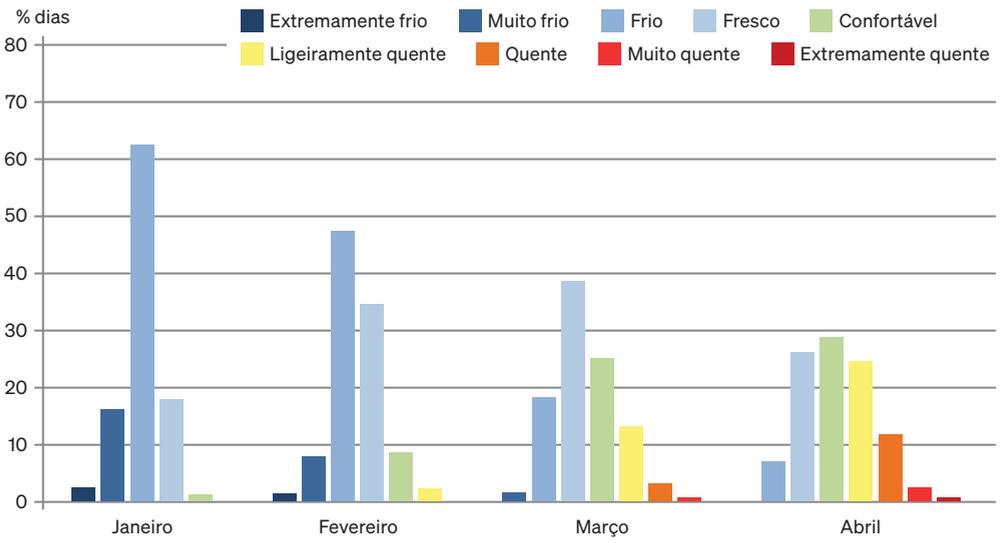


Figura 37 – Enquadramento geográfico do concelho do Porto

Esta condição geográfica explica o ritmo estacional portuense caracterizado por um inverno moderadamente fresco nas áreas mais próximas do mar, e frio ou muito frio nas áreas mais abrigadas do interior e nas altitudes mais elevadas, e um verão moderadamente quente, frequentemente influenciado pelos ventos de NW e pelos nevoeiros de advecção matinais junto ao litoral e, quente ou muito quente nas áreas afastadas da ação moderadora do atlântico ou de maior altitude (CMP, 2018a). A precipitação pode ocorrer em qualquer mês do ano embora seja mais frequente e mais intensa na estação mais fria do ano. A humidade relativa é na maioria dos dias muito elevada (> 70%) e são

Página seguinte:

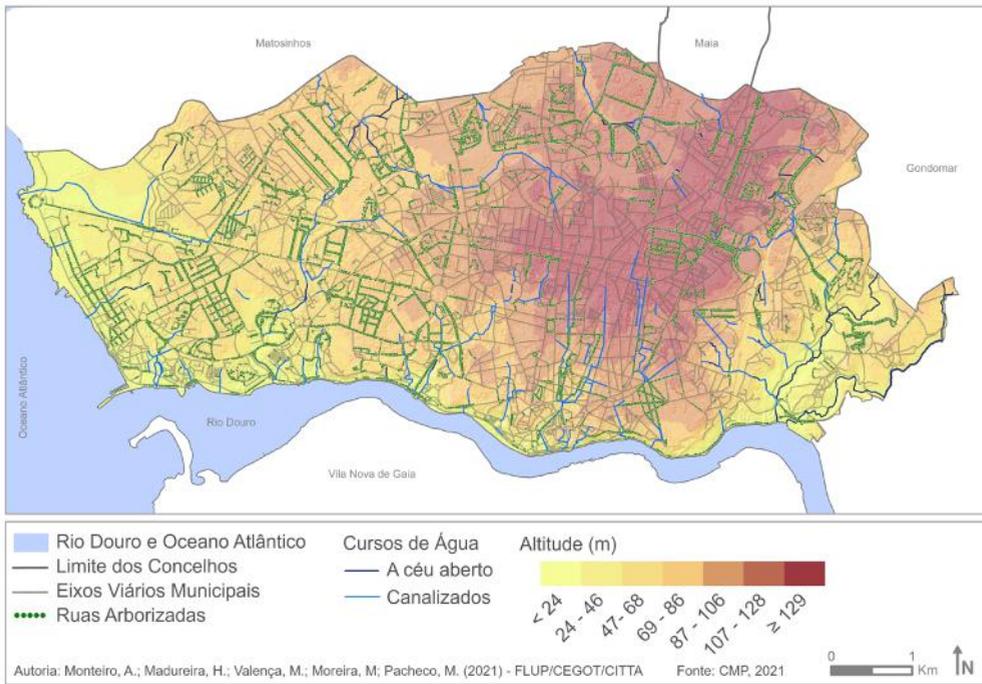
Figura 38 – Conforto bioclimático no Porto estimado a partir da PET (“Physiologically Equivalent Temperature”) mensal no Porto entre 2002–2016. Adaptado de CMP (2018)



frequentes os nevoeiros de advecção junto ao litoral e os de radiação nas áreas com maior diferenciação altimétrica. Os ventos predominantes no verão são de NW, N e E enquanto no Inverno são de E, SE e NW (CMP, 2018a). A velocidade média do vento ronda os 20–25 km/h (5,5m/s – 6,9 m/s) e é muito frequente a presença tanto das brisas terra-mar como a brisa vale-topo da montanha (CMP, 2018a).

A intensa artificialização do território esculpiu alterações profundas na micro-morfologia e na fisiologia interna da cidade, introduzindo modificações consideráveis na temperatura, na humidade e na velocidade e no rumo dos ventos (Figura 39). No Porto, como em todos os espaços urbanos, são frequentes as anomalias térmicas positivas, o aumento da secura higrométrica e as grandes e rápidas modificações do sentido e velocidade do vento. A magnitude destas modificações é proporcional à intensidade da artificialização existente assim como ao modo como cada uma das funções é distribuída no espaço e à vitalidade do *modus vivendi*.

Figura 39 – Morfologia e hidrografia portuense. Adaptado de CMP (2018)



Nos próximos subcapítulos resumimos as principais características diferenciadoras dos espaços urbanos em quatro dimensões – temperatura, ventilação, poluição do ar e ciclo hidrológico. Simultaneamente, e para cada um desses domínios, sintetizamos as potenciais funções da vegetação e especificamente das árvores de arruamento, e concluímos com um resumo de diretrizes dedicadas à cidade do Porto.

Recorde-se, no entanto, que por tudo o que descrevemos sobre a complexidade da *matrioska* climática, o elemento climático que merecerá maior atenção será a temperatura ao nível do solo da rede viária municipal porque é o que, com a informação disponibilizada pela CMP e com o conhecimento climatológico da área já existente, permite estimar o comportamento com maior fiabilidade.

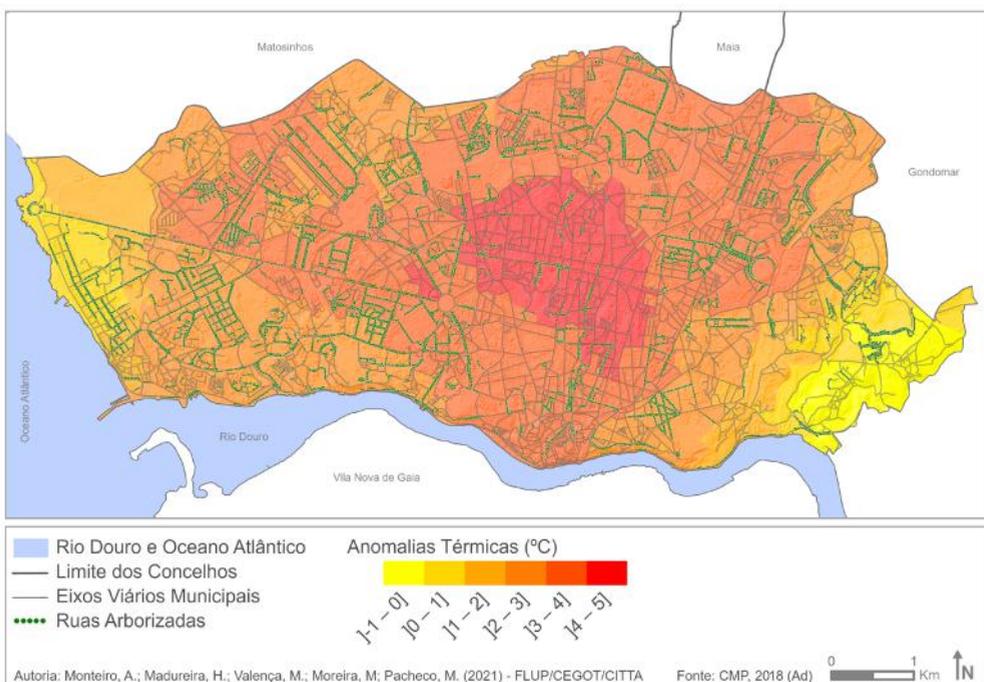
5.2.1. As árvores e a temperatura

O comportamento da temperatura nos espaços urbanizados

A impermeabilização do solo, a modificação da morfologia natural, a profusão de materiais com diversas capacidades de absorção e de reflexão da energia natural e antrópica alteram o balanço energético dos espaços urbanizados. Isso decorre dos próprios processos de urbanização (Shashua-Bar & Hoffman, 2000). O crescimento urbano provocou a troca da área verde e de solos permeáveis por materiais impermeáveis e que possuem, frequentemente, uma maior capacidade de absorção térmica, como o betão, o cimento ou o asfalto. Esses materiais, além de absorverem mais radiação do que as superfícies vegetalizadas durante o dia, libertam a energia acumulada no período noturno, não permitindo que a atmosfera urbana arrefeça (Maimaitiyiming et al., 2014; Oke et al., 2017). Esse efeito é vulgarmente designado de Ilha de Calor Urbano. Além do desconforto térmico, as Ilhas de Calor Urbano comprometem a qualidade de vida dos seres humanos, afetam a qualidade e a quantidade de água dos cursos de água, alteram o ciclo de vida das plantas e dos insetos, a produção de alimentos, etc. (Maimaitiyiming et al., 2014).

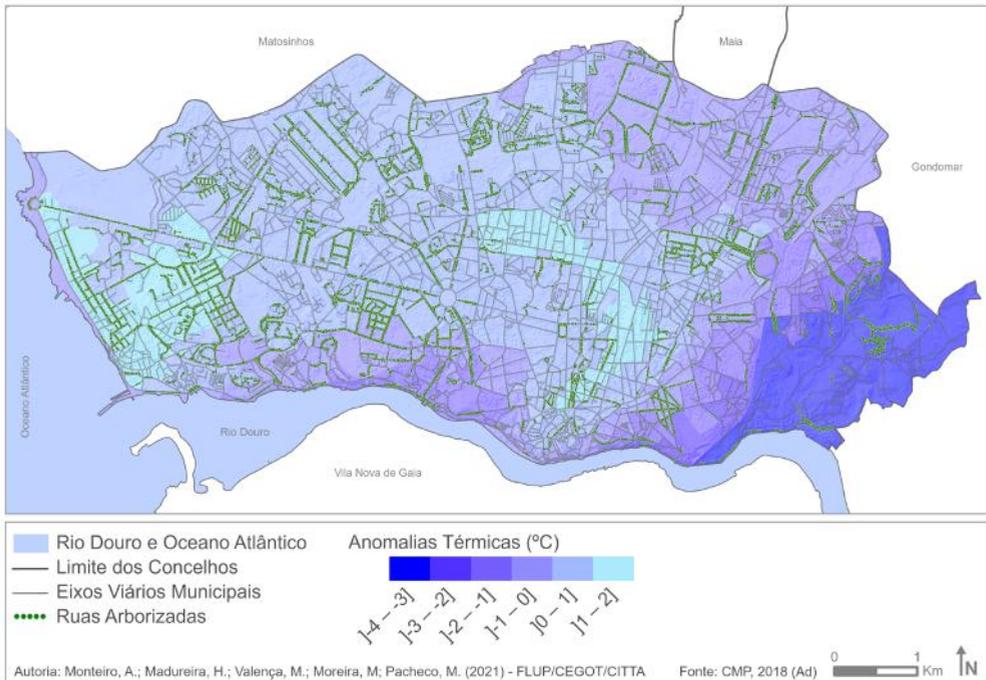
O Porto, apresenta frequentemente anomalias térmicas positivas nas áreas onde a artificialização do espaço é mais intensa, recriando uma série de mosaicos microclimáticos geradores de stress térmico outdoor provocado tanto pela amplificação do calor intenso nos meses de verão como dos espaços frios, húmidos e sombrios nos meses de inverno, comumente designados de ilhas de Frescura Urbana, o que associado à pobreza energética e às características das habitações, prolonga o desconforto térmico praticamente por todos os meses do ano.

Figura 40 – Anomalias térmicas muito prováveis no Verão. Adaptado de CMP (2018a)



Recorde-se, que de acordo com a investigação científica realizada (CMP, 2018a) as temperaturas médias, máximas e mínimas na área portuense têm vindo a evidenciar uma tendência positiva sobretudo a partir de 1980, o que explica o aumento da irregularidade e desorganização estacional do clima testemunhado pela maior frequência de eventos extremos de calor e de frio (Figura 40; Figura 41).

Figura 41 – Anomalias térmicas muito prováveis no Inverno. Adaptado de CMP (2018a)



Independentemente do estado de tempo presente, as sensações termo-higro-anemométricas nos espaços de circulação junto ao solo – as ruas, avenidas ou praças – dependem sobretudo da sua largura e comprimento, da orientação, da volumetria lateral, da simetria, dos materiais construtivos, da rugosidade e da quantidade e diversidade de elementos naturais e artificiais existentes. Por isso, a geometria destes canais de circulação abertos, definida pelo plano do solo e pelas características da sua envolvente, é um dos fatores que mais contribui para a variação climática local sentida abaixo do *canopy layer*.

O *Aspect Ratio* (Oke et al., 2017) destes canais abertos, isto é, a relação entre a altura dos edifícios adjacentes (H) e a largura da rua (W), é muito diverso no Porto como em qualquer cidade. Embora haja padrões que se repetem nas vias estruturantes e que são muito semelhantes nas áreas da cidade construídas na mesma época, o mais comum é existir uma profusão de *Aspect Ratio* em áreas muito próximas dentro de um mesmo espaço urbano, como acontece no Porto (Figura 42).

Esta configuração é, em conjugação com outras características, determinante para facilitar ou impedir a acumulação da energia solar e da energia produzida pelas atividades antrópicas e irradiada pelos materiais construtivos. Podem, por exemplo, proteger o espaço canal do vento dominante, quando este sopra perpendicularmente à rua, e proporcionar a retenção da radiação solar e da irradiação noturna criando nichos de anomalias

térmicas positivas de magnitude considerável (Mballo et al., 2021). A identificação destes padrões é um dos elementos fundamentais para compreender os contextos climáticos de qualquer espaço urbano, particularmente em espaços urbanos com muitos séculos de história como acontece no Porto.

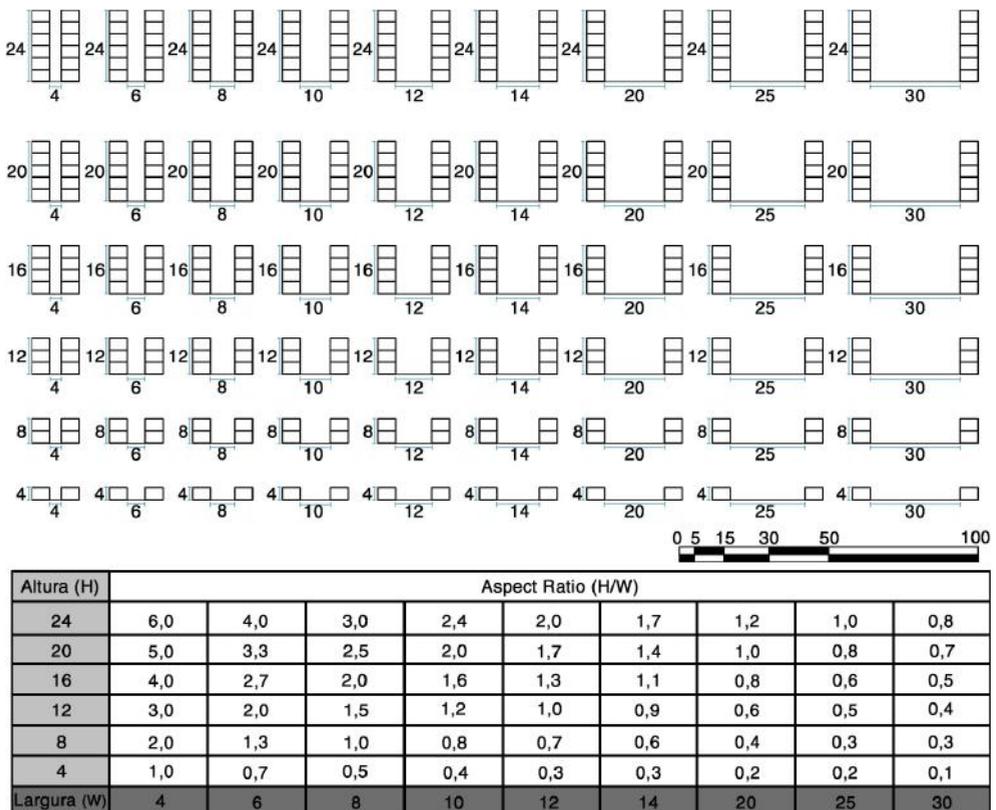


Figura 42 – Aspect Ratios mais frequentes no Porto. Adaptado de Valença (2020)

O *Aspect Ratio* é um indicador muito importante e, por isso mesmo, muito utilizado no desenho de projetos urbanos adaptados ao conforto bioclimático porque permite diagnosticar, com grande acuidade as condições climáticas ao nível da rua, permitindo estimar com facilidade a exposição da rua à radiação solar, as condições de perda ou retenção da energia natural e artificial, o excesso ou falta de sombreamento, a dispersão de poluentes e a ventilação. Portanto, é muito relevante às possibilidades de projeto urbano. E, como vimos, no Porto a diversidade é a norma.

A partir do cálculo do *Aspect Ratio* na rede viária municipal portuense, estimámos, tendo em conta a orientação e a latitude do lugar, um outro indicador indispensável para estimar o (des)conforto bioclimático outdoor ao nível da rua, isto é, a porção de céu visível – *Sky View Factor* (Figura 43).

Esta “janela” de entrada e saída de energia natural e artificial – *Sky View Factor* – condiciona substantivamente os ganhos e as perdas energéticas no *canopy layer* (Figura 43) que, combinadas com os *Aspect Ratio* típicos e com a orientação das ruas, ajuda a explicar a bacia de receção energética em cada troço da rede viária (Figura 44).

Figura 43 – Sky view factor nos eixos viários municipais portuenses (sem cobertura vegetal)

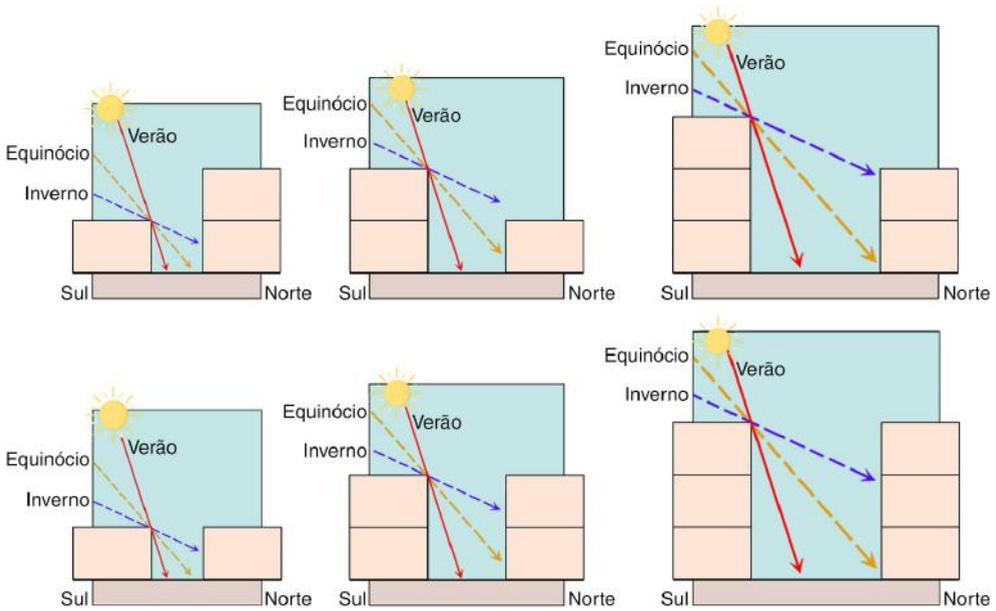
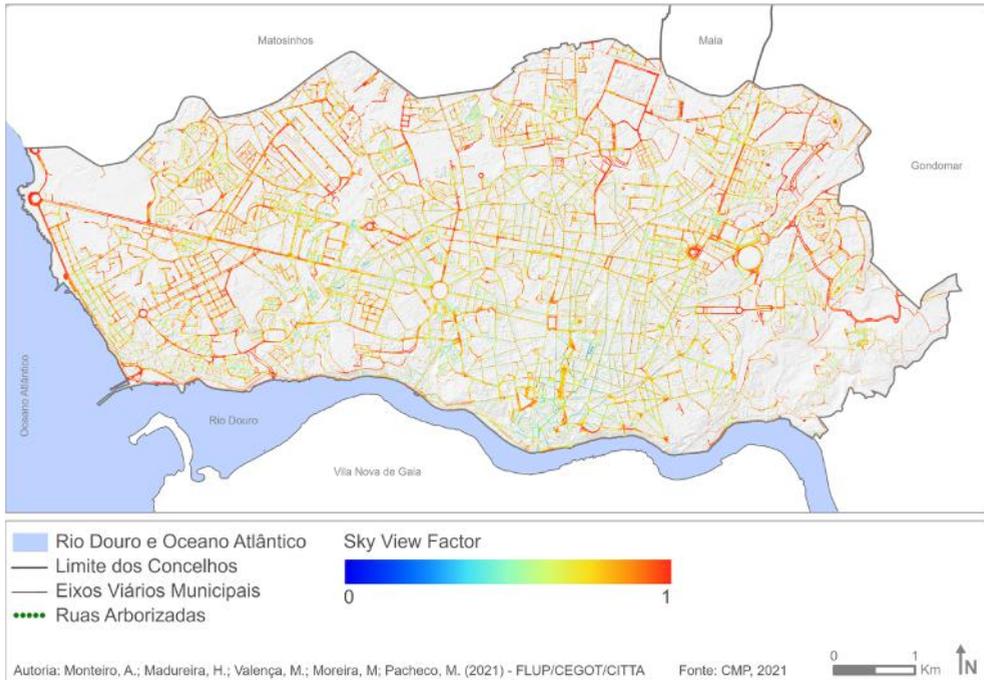


Figura 44 – Relação entre orientação das ruas, “aspect ratio” e exposição solar.
Adaptado de Valença (2021)

No Porto, os Sky View Factor mais baixos, entre 0 e 0,5, correspondem a um pequeno número de ruas (cerca de 10%) localizadas sobretudo do centro histórico. Os valores mais elevados, acima de 0,8, coincidem com cerca de 40% da rede viária municipal portuense, sobretudo as de construção mais recente e que coincidem, grosso modo, com o

anel exterior à VCI. As ruas com *Sky View Factor* entre 0,5 e 0,8 correspondem às restantes 50% das ruas portuenses (Figura 43; Figura 45).

Porém, no caso do Porto, a inclinação dos raios solares e a duração do dia e da noite variam muito ao longo do ano, acompanhando o movimento anual aparente do Sol os efeitos da inclinação do eixo terrestre face ao plano da eclíptica durante o movimento de translação. No solstício de Verão (21 de junho), o Sol atinge a sua altura máxima (cerca de 75º) e o período iluminado é também o mais extenso (entre as 6h e as 21h) enquanto no solstício de Inverno (21 de dezembro) atinge a sua altura mínima (cerca de 28º) e o período iluminado mais curto do ano (entre as 8h e as 17h). Esta variabilidade da inclinação e da duração da radiação solar direta no Porto é determinante para a criação de uma multiplicidade de mosaicos térmicos ao nível da rua amplificados pelo desenho urbano (Figura 46).

Importa reter que a época do ano em que as ruas do Porto recebem maiores quantitativos energéticos provenientes do sol coincide também com a maior duração do período iluminado do dia e que, por outro lado, a época do ano em que os raios solares têm maior inclinação e, portanto, disponibilizam menos energia por unidade de superfície, coincide com os menores períodos iluminados. Daí ser também importante juntar a este diagnóstico o inventário do número de horas de sol nas quatro estações do ano.

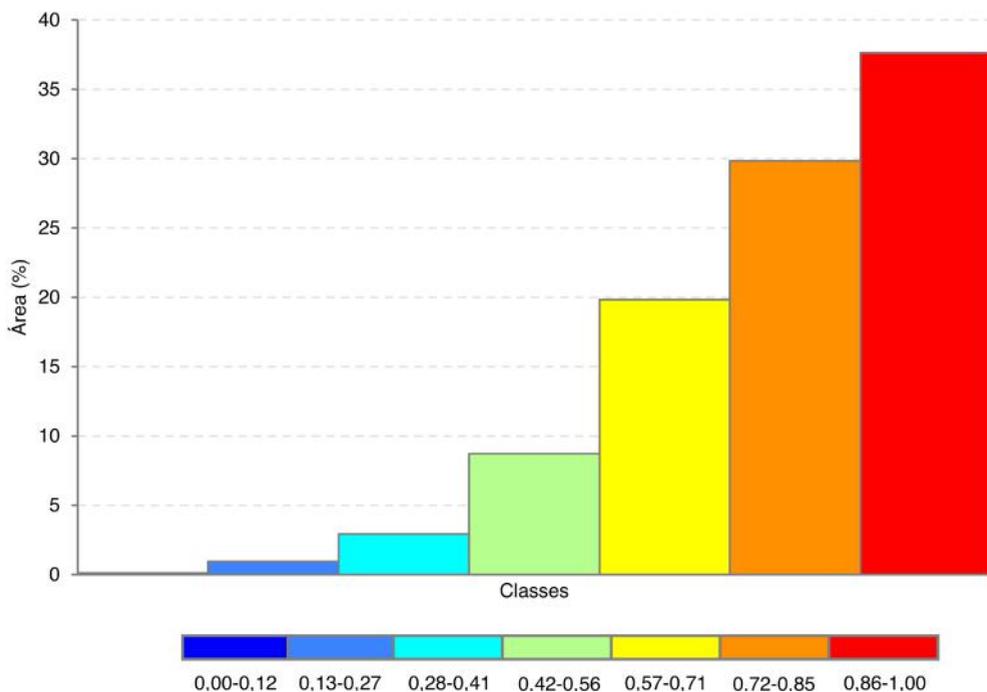
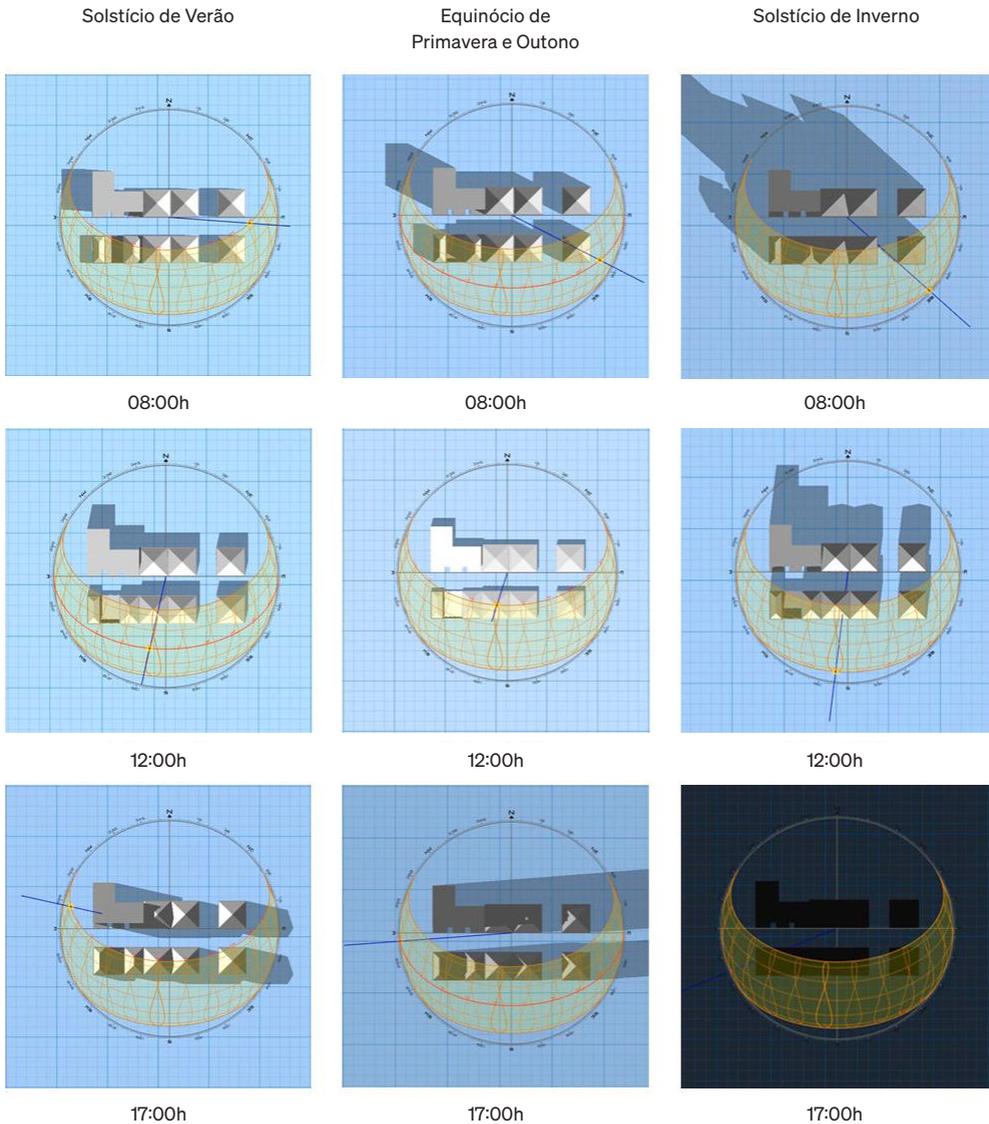


Figura 45 – Distribuição dos eixos viários municipais do Porto de acordo com as diferentes classes de “Sky View Factor” (%)

A Figura 47 e a Figura 48 representam, respetivamente, a exposição à radiação solar e o número de horas de exposição nas ruas do Porto em diferentes momentos do ano. Podemos verificar como a combinação única entre a localização geográfica, a morfologia natural e a diversidade de novas formas artificiais construídas sobre a superfície natural, esculpem uma mescla muito retalhada de espaços excessivamente abrigados e

outros bastante bem expostos à radiação solar ao longo do ano. Trata-se de um resultado consideravelmente mais complexo daquele que seria obtido se, como é comum, considerássemos apenas os ganhos energéticos junto ao solo numa isoplanície. Esta condição é determinante para o conforto termo-higro-anemométrico abaixo da copa urbana e uma das causas principais para explicar todos os movimentos de compensação energética abaixo do nível dos telhados. Condiciona também, substantivamente, a enorme diferenciação estacional dos quantitativos energéticos que chegam à superfície em áreas muito próximas, ou seja, o Porto, como todos os espaços urbanizados, recria totalmente o balanço energético junto ao solo pela multiplicidade formas das ruas e dos edifícios existentes.

Norte/Sul



Este/Oeste

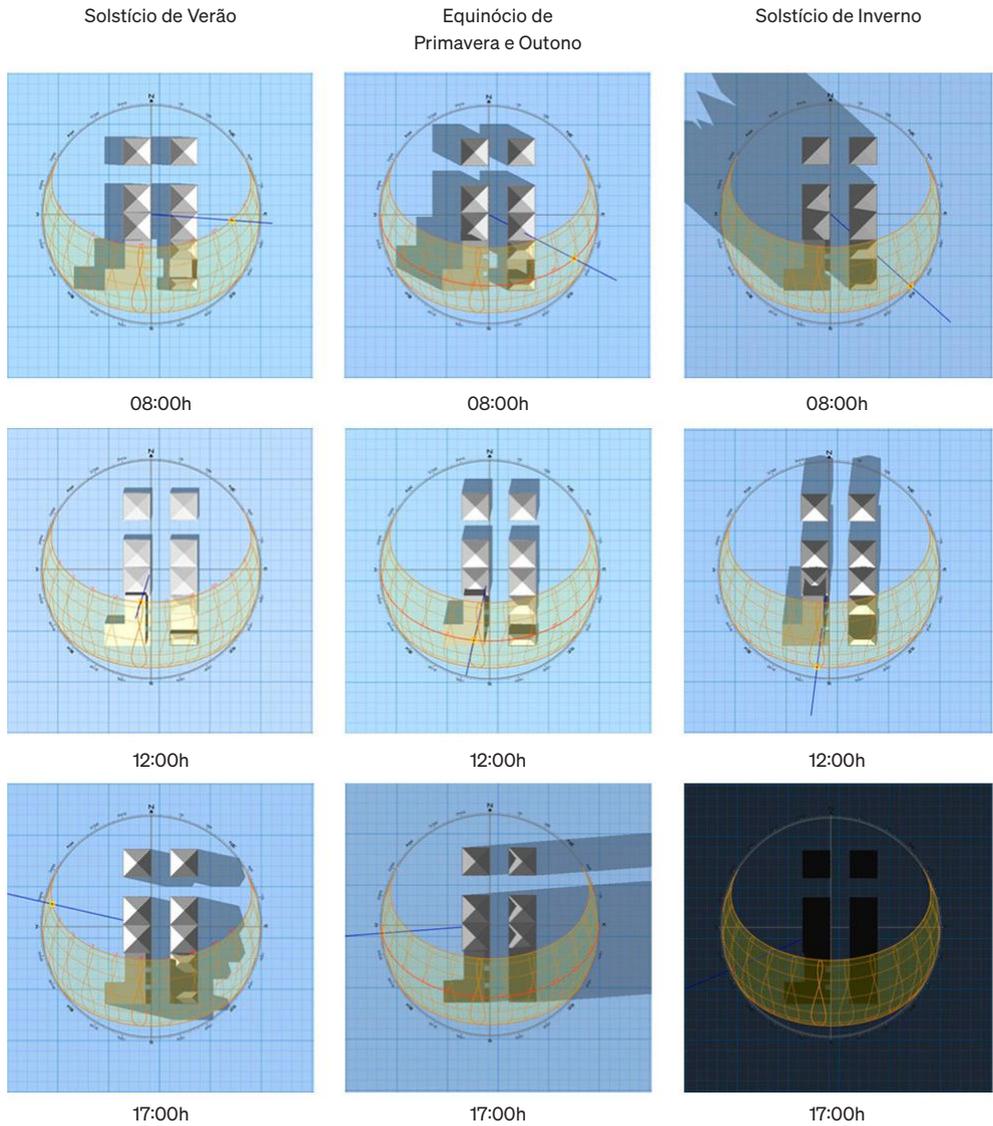
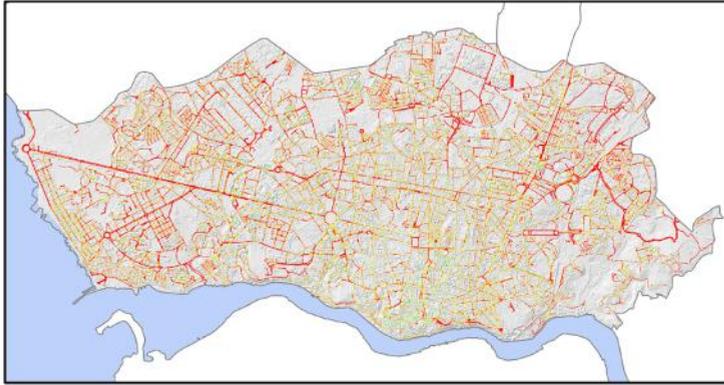
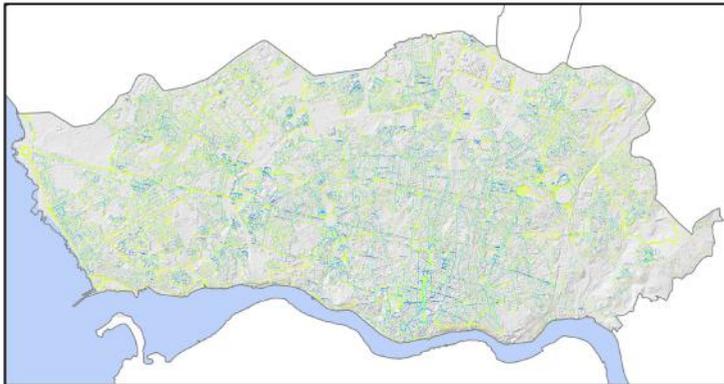


Figura 46 – Padrão de exposição solar ao longo do ano numa rua de orientação Este-Oeste (à esquerda) e Norte-Sul (à direita) no Porto. Adaptado de Valença (2021)

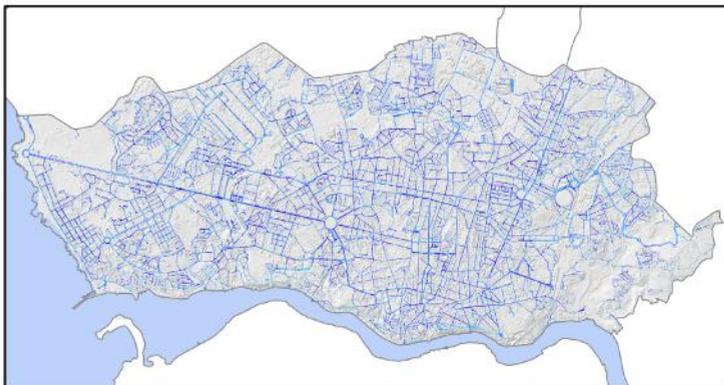
Radiação solar nas ruas no Soltício de Verão (Wh/m²)



Radiação solar nas ruas nos Equinócios de Outono e Primavera (Wh/m²)



Radiação solar nas ruas no Soltício de Inverno (Wh/m²)



— Limite dos Concelhos

■ Rio Douro e Oceano

Radiação solar nas ruas (Wh/m²)

- 0 - 250
- 251 - 500
- 501 - 750
- 751 - 1000
- 1001 - 1500
- 1501 - 2000
- 2001 - 2500
- 2501 - 3000
- 3001 - 3500
- 3501 - 4000
- 4001 - 4500
- 4501 - 5000
- 5001 - 5500
- 5501 - 6000

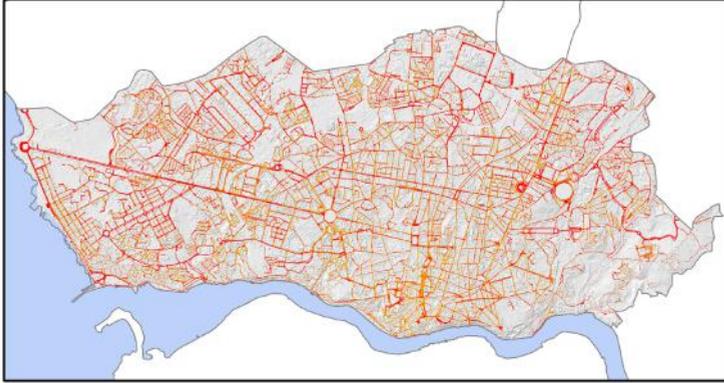


Fonte: CMP, 2021

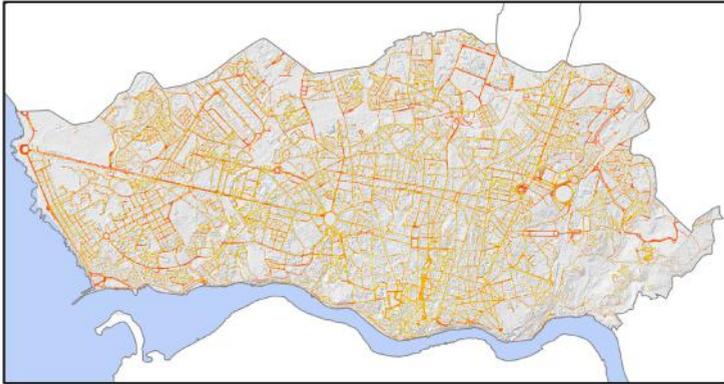
Autoria:
Monteiro, A.; Madureira, H.;
Pacheco M.; Valença, M.;
Moreira, M. (2021)
FLUP/CEGOT/CITTA

Figura 47 – Radiação solar nos eixos viários do Porto no momento dos solstícios e dos equinócios

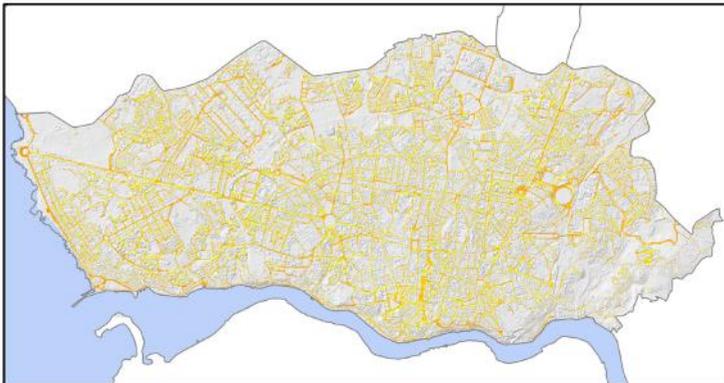
Número de horas de radiação solar nas ruas no Solstício de Verão



Número de horas de radiação solar nas ruas nos Equinócios de Outono e Primavera (h)



Número de horas de radiação solar nas ruas no Solstício de Inverno (h)



— Limite dos Concelhos

■ Rio Douro e Oceano

Número de horas de sol nas ruas (h)

-]0 – 2]
-]2 – 4]
-]4 – 6]
-]6 – 8]
-]8 – 10]
-]10 – 12]
-]12 – 14]
-]14 – 16]

0 2 Km
ETRS 1989 Portugal PM06

Fonte: CMP, 2021

Autoria:
Monteiro, A.; Madureira, H.;
Pacheco M.; Valença, M.;
Moreira, M. (2021)
FLUP/CEGOT/CITTA

Figura 48 – Número de horas de sol nas ruas nos solstícios e equinócios

As árvores como reguladores térmicos

As árvores têm um papel importante enquanto reguladores térmicos ao nível da rua, sobretudo nos espaços urbanos sobreaquecidos por todas as ações e atividades antrópicas. Ao interceptarem a radiação solar, refletindo uma parte e utilizando outra para a fotossíntese, as árvores impedem a chegada ao solo de uma considerável porção do espectro eletromagnético solar, tanto na banda do visível como dos infravermelhos. Para além deste impacto direto no balanço da radiação, criam indiretamente modificações na ventilação entre a copa e o solo que, consoante o tipo de árvore podem traduzir-se em diminuições substantivas da quantidade de energia que chega à superfície.

A influência das árvores na temperatura junto ao solo ocorre, portanto por uma combinação de fatores: i) um coeficiente de reflexão de radiação solar maior que os materiais construtivos, pois a cor verde absorve menos calor do que cores escuras de materiais como asfalto; ii) a evaporação e a transpiração consomem energia; iii) a barreira criada à passagem da radiação solar causada pelas folhas e galhos (Mohammed & Salman, 2018).

Além do sombreamento, a evapotranspiração é muito importante para a regulação da temperatura, pois a humidade fornecida pelas árvores amplifica o stress térmico nos períodos mais quentes do ano. Assim, em dias secos e quentes, como costumam ser no pico do verão no Porto, a transpiração arbórea será mais alta e irá agir de forma a aumentar o desconforto térmico sentido pelos pedestres. Contudo, em dias frios e húmidos como no inverno a absorção de água pelas árvores será reduzida, assim como a transpiração, mas ainda assim esse efeito pode agravar o desconforto já existente com a humidade elevada.

É importante também lembrar que o benefício climático das árvores está diretamente relacionado com a disponibilidade de água existente. Se a disponibilidade de água for escassa a transpiração será reduzida e podem, a longo prazo, perder a densidade da sua copa afetando a sua capacidade de sombreamento (Mballo et al., 2021), perder longevidade, enfraquecer e aumentar o risco de acidentes por quebras ou quedas.

Os efeitos climáticos das árvores são sobretudo mais eficazes no espaço imediatamente abaixo da copa e nas suas imediações. Contudo, quando agrupadas ou alinhadas, no caso de árvores na rede viária, estes benefícios bioclimáticos podem ampliar-se e alargar a área de influência climática. De acordo com Shashua-Bar e Hoffman (2000) uma área de 300m² de árvores pode ampliar o seu impacto num raio de 150 a 200m dependendo das condições de ventilação e insolação locais. E o efeito de pequenos espaços arborizados distribuídos pelo espaço urbano parece ser uma opção mais eficaz do ponto de vista bioclimático do que a escolha de grandes parques verdes, já que a influência no contexto climático é maior e melhor distribuída pelo espaço urbano.

A magnitude dos efeitos de regulação térmica das árvores nas ruas depende muito das suas características físicas, como por exemplo a profundidade das raízes, o diâmetro da copa, a densidades das folhas e a reflectância das folhas consoante a sua coloração e morfologia (Zheng et al., 2018). Por outro lado, os impactes da presença de árvores na temperatura junto ao solo, para além de dependerem da área da copa e da altura da árvore, variam muito com o seu posicionamento relativo face a outros objetos presentes, como por exemplo a forma e os materiais das fachadas dos edifícios. E, em alguns casos, podem até surtir o efeito oposto ao desejado, já que para além de aumentarem a retenção

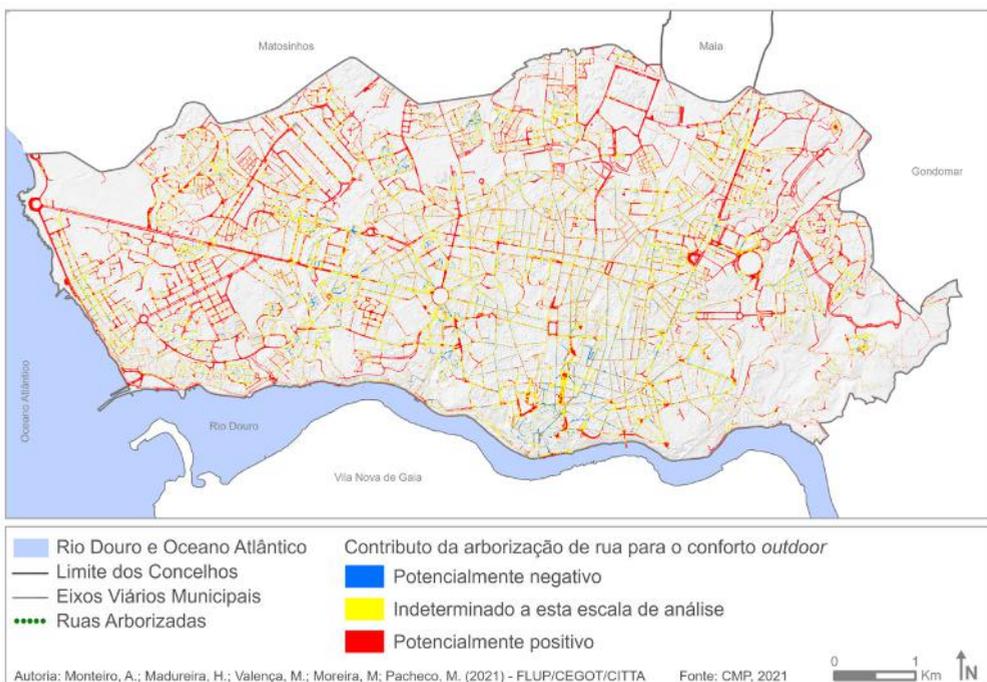
de energia junto ao solo acumulam uma maior humidade, o que aumenta bastante o desconforto bioclimático.

Contudo, é cada vez mais consensual entre a comunidade científica que, desde que haja a precaução de triar as soluções adequando-as a cada caso em concreto, o aumento da disponibilidade de vegetação é uma solução eficaz para melhorar o conforto bioclimático. E, do conjunto possível, as árvores parecem ser mais eficientes do que os revestimentos herbáceos, tendo-se estimado por exemplo, que quando, num espaço urbano, a massa arbórea é igual ou maior a 1/3 da área total pode-se, em média, diminuir 1°C a temperatura local (Edward Ng et al., 2012). Por outro lado, outros estudos indicam que num dia soalheiro a evapotranspiração de uma árvore pode ter uma capacidade entre 20 a 30Kwatts o que equivale a mais de 10 unidades de ar condicionado (Krvavík et al., 2007).

Recomendações

A localização geográfica do Porto beneficia ao longo do ano as fachadas expostas a sul, que são sempre as mais soalheiras. Em contrapartida as fachadas orientadas a norte são as mais deficitárias, mesmo no verão. As fachadas expostas este e oeste são mais beneficiadas do que aquelas expostas a norte, mas muito menos do que a expostas a sul, já que as primeiras recebem radiação direta apenas durante a manhã e as segundas só da parte da tarde (Valença, 2020). Isto, associado às características morfológicas, à proximidade do oceano atlântico e do rio Douro, sugere uma atenção especial para a necessidade potencial de intervenção nas fachadas S, SW e SE das ruas portuenses e para um especial cuidado à colocação de elementos arbóreos nas fachadas N, NW e NE. Assim, no pressuposto de se tratar de superfícies livres, ou seja, sem obstruções nas imediações que possam obstruir a incidência solar, recomendar-se-ia no caso concreto do Porto:

Figura 49 – Mapeamento dos benefícios potenciais da arborização viária para o conforto térmico outdoor



1. Nas fachadas expostas a S, é absolutamente recomendável o sombreamento;
2. Nas fachadas expostas a N não sombrear pois não recebem luz solar direta durante a maior parte do ano e a arborização, a existir, deverá ser com espécies de folha caduca;
3. Nas fachadas expostas a E e W o sombreamento, a existir, deve ser mais espaçado e com árvores de copas menos densas. Caso não seja possível arborizar ambos os lados deve priorizar-se a colocação de árvores no eixo central da via;

No entanto, será obrigatório conjugar estas recomendações gerais com as condições concretas de cada eixo viário, designadamente quanto à orientação geográfica e à configuração do ambiente construído, ou seja, à sua largura, à altura média do edificado e ao *sky view factor*. Ainda mais porque o Porto possui, numa grande extensão, ruas não ortogonais, com orientações muito diversas e uma grande diversidade de configurações de volumes edificados. A Figura 49 apresenta uma classificação dos eixos viários do Porto tendo em conta o potencial contributo da arborização para o conforto outdoor, sendo possível individualizar:

1. ruas ou troços de ruas em que a conjugação da orientação geográfica e da configuração do ambiente construído (largura da via, altura do edificado e *sky view factor*) determinam um contributo potencialmente negativo da arborização; estas condições ocorrem pontualmente por todo o território municipal e, como mais incidência, no centro histórico da cidade.
2. ruas ou troços de ruas em que o potencial contributo da arborização viária para o conforto *outdoor* não é passível de determinação numa avaliação à escala municipal; estas condições ocorrem por todo o território municipal.
3. ruas ou troços de ruas em que a conjugação da orientação geográfica e da configuração do ambiente construído (largura da via, altura do edificado e *sky view factor*) determinam um contributo potencialmente positivo da arborização; estas condições ocorrem pontualmente por todo o território municipal e, como mais incidência, nas vias mais largas em contextos urbanos de consolidação mais recente.

5.2.2. As árvores e a ventilação

O comportamento do vento nos *canyons* urbanos

Antes de percebermos como as árvores alteram a ventilação nos *canyons* urbanos, é necessário compreender como ocorre a ventilação no contexto urbano. Essa compreensão é importante para que se possa prever, com base nos fluxos de vento dominantes no Porto, qual a melhor estratégia para uma arborização adequada e segura.

A velocidade do vento na cidade é, em média, inferior à da sua envolvente regional, devido a rugosidade da morfologia urbana, que exerce um efeito de fricção, criando turbulência, com rápidas alterações espaciais e temporais, tanto na direção como na velocidade do vento. Por seu turno, o movimento do ar nos *canyons* urbanos é impulsionado

pelo fluxo de vento prevalecente acima do nível dos telhados dos edifícios. Contudo, fatores como a relação entre a largura da rua e a altura média dos edifícios (*aspect ratio*), o comprimento das ruas, a forma dos telhados – inclinados ou planos – e a existência de obstáculos como árvores ou o trânsito de veículos vão interferir nas direções e velocidades da ventilação dentro do *canyon* urbano (Oke et al., 2017). Ou seja, o nível de obstrução ou a disponibilidade de espaço junto à superfície condicionam o comportamento do fluxo de ar, e também a capacidade de dispersão de poluentes e de dissipação do calor armazenado no tecido urbano durante o dia.

Em termos gerais, considerando um fluxo de vento perpendicular ao *canyon* urbano, verificam-se três principais regimes de circulação do ar em função do *aspect ratio*:

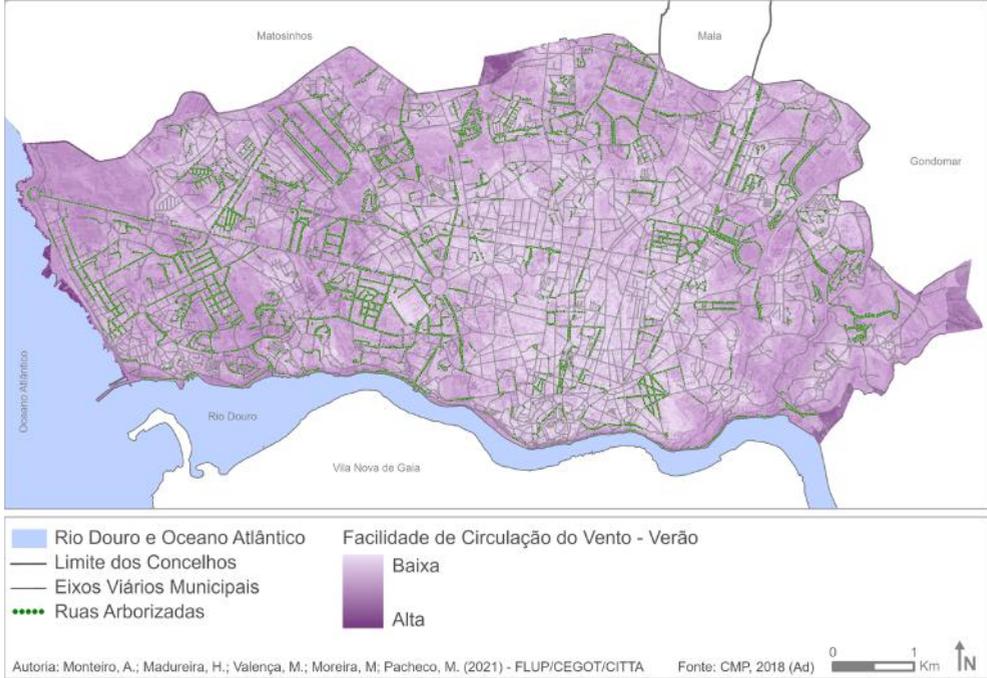
1. quando a relação H/W é baixa, designadamente com grande espaçamento entre edifícios, o fluxo de ar percorre de forma semelhante ao dos edifícios isolados (*Isolated roughness flow*);
2. quando a relação H/W é intermédia, com menor afastamento entre os edifícios, o edifício posterior gera perturbações ao deslocamento do ar, causando a formação de vórtices entre os mesmos (*Wake interference flow*);
3. quando a relação H/W é elevada, a proximidade entre as estruturas construídas cria espaços oclusos em que o fluxo de ar acima dos edifícios tem menor tendência a atingir o *canyon*, limitando o efeito da ventilação natural (*Skimming flow*).

Existem quatro principais estruturas de fluxo de ventilação a serem observadas (Nakamura & Oke, 1988; Oke et al., 2017; Oke, 1988):

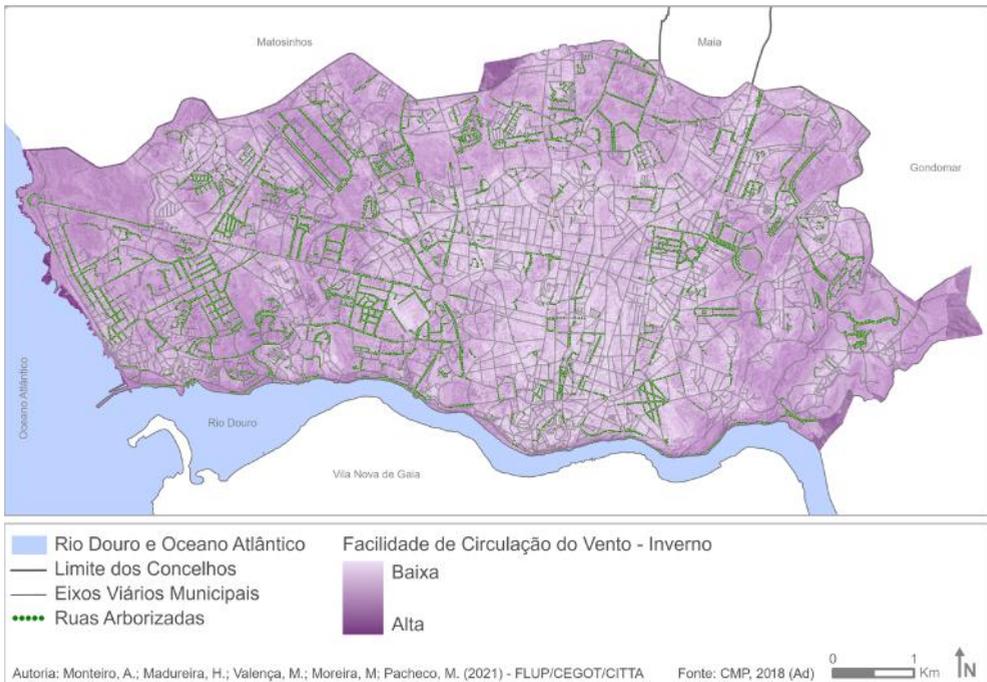
1. *Cross-canyon vortex*: Ocorre quando o fluxo de ar principal é perpendicular ao eixo da rua (ângulo de 90°). É criado um fluxo vertical de vento rotativo, com um vórtice primário centralizado no *canyon*. Quando o vento é forte ou quando os edifícios envolventes favorecem esse movimento, por exemplo com telhados inclinados, o *cross-canyon vortex* é fortalecido.
2. *Stacked vortices*: Ocorre quando fluxo de ar principal é perpendicular ao eixo da rua e quando a relação H/W é muito elevada, ou seja, em condições de ruas estreitas e edifícios altos. O vórtice principal enfraquece e divide-se numa ou mais células, no mesmo padrão rotativo, mas em sentidos contrários entre si, e quanto mais perto da superfície, mais lento o vento se torna. Estas células são propícias à recirculação de ar, e, portanto, geram más condições para a dispersão de poluentes.
3. *Helical vortex*: Ocorre quando o fluxo de ar principal perfaz um ângulo intermédio relativamente ao eixo da rua (ângulo de 45°). O fluxo de ar no interior do *canyon* resulta da soma vetorial do *cross-canyon vortex* e do *channelling flow*. O resultado é uma ventilação helicoidal, com movimentos em espiral ao longo das fachadas das edificações.
4. *Channelling*: Ocorre quando o ângulo do fluxo de ar principal perfaz um ângulo menor que 30° em relação à orientação do eixo principal da rua. Nesse caso o vórtice desaparece e o fluxo de ar tende a ser canalizado e acelerado através do *canyon*. Este efeito depende do comprimento da rua e da relação H/W (se for muito elevada

podem surgir *Stacked Vortices*). Quando a largura da rua não é uniforme, os ventos podem afunilar através de pequenas aberturas, aumentando ainda mais a aceleração dos ventos.

Figura 50 – Probabilidade de ocorrência de aceleração e travagem dos fluxos de ar. Adaptado de CMP (2018a)



No verão



No inverno

No caso do Porto, os rumos predominantes do vento registados em Porto-Pedras Rubras têm sido de NW e N na época mais quente do ano e de NW, NE e SE na época mais fria do ano, e têm soprado com uma velocidade média anual entre 20km/h e 25Km/h (5m/s e 7m/s) (CMP, 2018). Considerando as condições de circulação à escala da cidade, designadamente as condições que a esta escala podem promover a travagem ou a aceleração dos fluxos de ar, observa-se que toda a mancha construída do centro da cidade é, com algumas raras exceções, uma área de baixa circulação do vento. O resto do espaço urbano é pulverizado por inúmeras manchas de forte ventilação (CMP, 2018) (Figura 50).

A influência das árvores na ventilação dos *canyons* urbanos

As árvores são obstáculos à ventilação viária e por isso, podem interferir no comportamento dos fluxos de ar e, cumulativamente, na capacidade de dispersão de poluentes e de dissipação do calor armazenado no tecido urbano durante o dia.

A porosidade das copas e a altura das árvores são as principais características físicas que influenciam a ventilação. O fluxo de vento quando passa pelas árvores cria dois momentos de pressão, um positivo à frente da copa e um negativo atrás. Ao longo da altura da árvore o vento comporta-se de formas diferentes, na área superior e inferior da copa são mais velozes que os que a atravessam. Esse fator demonstra que além da densidade da copa, a sua forma e a densidade foliar também influenciam a velocidade do vento (Jian et al., 2018).

Nos *canyons* urbanos, dadas as restrições de espaço, é comum que as árvores sejam plantadas em linha. Um estudo experimental conduzido em Lecce, Itália (Di Sabatino et al., 2015), uma cidade de clima mediterrâneo, mostrou uma redução na velocidade média do vento de 35% abaixo das copas das árvores e 42% acima das copas. Foi ainda percebido que o fluxo principal de vento se manteve na direção que seguiria caso não houvesse árvores na rua, mas que no cenário com árvores há a presença de vórtices de reversão tanto na saída quanto na entrada da rua, confirmando-se, portanto, que a presença das árvores influencia a ventilação dentro dos *canyons* urbanos, sobretudo a velocidade do vento. Outro ponto relevante é que a arborização linear parece influenciar a velocidade dos ventos apenas na proximidade das copas e a habilidade das linhas de árvores constituírem obstáculos diminui quando o espaçamento entre as árvores aumenta (Jian et al., 2018).

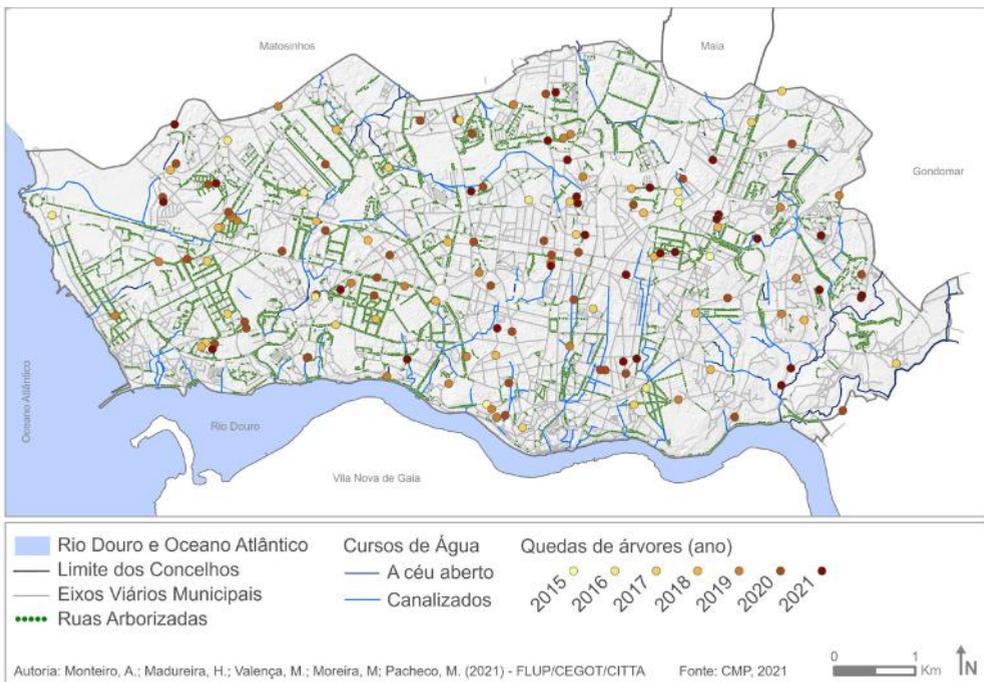
Da mesma forma que a diminuição dos ventos pelas árvores pode diminuir a capacidade de dissipação do calor gerado no espaço urbano e, portanto, poder construir um aspeto negativo para o conforto térmico no verão, pode ter efeitos positivos no inverno. As árvores podem, deliberadamente, ser utilizadas como barreiras à velocidade do vento e ao frio externo, protegendo os edifícios e auxiliando o desempenho de aparelhos de aquecimento, e, portanto, diminuindo os gastos de energia (DeWalle & Heisler, 1983; Giovani, 1991). Esse efeito de quebra-vento existe mesmo para árvores caducas, que perdem as suas folhas nos meses frios. No entanto, a sua influência na ventilação é menor pois a porosidade (densidade) das copas interfere na velocidade do vento (Di Sabatino et al., 2015; Jian et al., 2018).

Para promover o efeito de barreira é necessário que as árvores sejam plantadas na posição de contravento relativamente ao edificado ou à área que se pretende proteger. Além disto, deve-se respeitar uma certa distância da edificação, uma vez que se criam

fluxos de ar nas imediações da copa da árvore causados pelas diferenças de pressão (Jian, Bo e Mingyue 2018). A distância ideal pode ser definida pela relação entre a altura da árvore e o quanto se pretende diminuir a velocidade do vento (DeWalle & Heisler, 1983; Giovanni, 1991). Os autores DeWalle e Heiler (1983) relataram no seu trabalho experimental que distâncias de uma e quatro vezes a altura da árvore correspondem respetivamente a reduções da velocidade do vento entre 40% a 50% e de gastos com aquecimento, entre 20% e 10%.

Importa, ainda, referir que a queda de árvores, parcial ou completa, constitui um risco assinalável em contextos urbanos, em especial nas ruas, podendo atingir peões e veículos. As árvores podem cair pelas mais diversas razões, como má nutrição, doenças ou pragas, idade avançada, falta de água, interferência de novas construções nas raízes, e também pela ação de ventos fortes. Grande parte das razões listadas podem ser evitadas pelo cuidado e tratamento correto com as árvores. Contudo, é necessário informar aos gestores e a população que, em ambiente urbano, as árvores são mais frágeis e tem um ciclo de vida mais curto quando comparadas a outras em meio natural (Lopes et al., 2009; Mullaney et al., 2015; Prioleau, 2010). A queda de árvores provocada por ventos fortes e tempestades é uma situação complexa, dependendo das características da árvore (por exemplo, idade, tamanho, altura, porte, densidade da folhagem, etc.), bem como das suas condições sanitárias (Prioleau, 2010). No Porto, como noutras cidades, registam-se anualmente casos de queda de árvores que, como podemos observar na Figura 51, ocorrem por todo o território municipal. A promoção do efeito barreira acima descrito deve, portanto, ser ponderado com o risco de queda de árvores em vias onde se registem condições para o aceleração dos fluxos de ar.

Figura 51 – Quedas de árvores no Porto entre 2015 e 2021



Recomendações

No Porto durante os meses de inverno os ventos sopram, com maior frequência de Noroeste, Leste e Sudeste, enquanto no verão são predominantemente de Noroeste, Norte e Leste com velocidade média entre 20 a 25 Km/h (5,5 m/s – 6,9 m/s). Além disso, no estudo dos corredores de ventilação da cidade (CMP, 2018a) é expresso que existem áreas, como o centro histórico do Porto, onde há dificuldades acrescidas para a circulação do ar afetando diretamente a qualidade do ar, com reflexos na saúde de quem o inala e na degradação dos materiais expostos, mas também, indiretamente, no balanço energético local. Isto decorre, sobretudo, do padrão do edificado e das larguras das vias. Desta forma, é necessário analisar e ponderar as condições em que a obstrução da ventilação representaria um aumento ou uma diminuição das condições de conforto bioclimático e qualidade.

Portanto, no que corresponde à ventilação e à arborização viária no Porto é importante:

1. Considerar a importância da diferenciação morfológica e da artificialização do espaço na criação de corredores de travagem e aceleração dos fluxos de ar que são predominantemente de NW e N na época mais quente do ano e de NW, NE e SE na época mais fria do ano;
2. A influência das árvores nos fluxos de ar depende da morfologia da árvore e da força/velocidade dos fluxos de vento, sendo que árvores com copas densas têm um maior efeito nos fluxos de ar;
3. Avaliar os ângulos da ventilação principal em relação ao eixo direcional do *canyon* urbano e a relação H/W (*aspect ratio*) para determinar o regime de circulação de ar que se estabelece;
4. De acordo com o comportamento dos fluxos de vento no interior do *canyon* urbano, optar por uma arborização com a finalidade de criar, ou não, barreiras para diminuir a velocidade dos ventos.

5.2.3. As árvores como reguladoras da qualidade do ar

A poluição atmosférica nos espaços urbanos

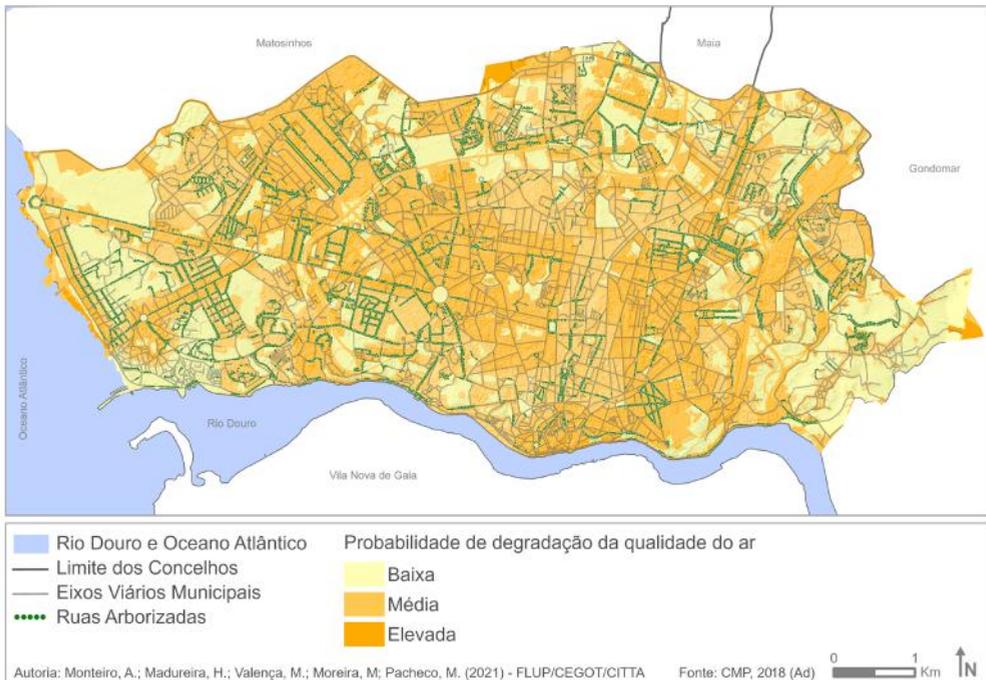
A melhoria da qualidade do ar no *canopy layer* pode ser conseguida tanto diretamente reduzindo a emissão de elementos indesejáveis como indiretamente ao melhorar as condições de limpeza da atmosfera. A primeira estratégia, nos espaços urbanos, implica a diminuição das emissões provenientes do tráfego rodoviário e das atividades industriais cujos processos geram como outputs, compostos de carbono, de azoto, de enxofre, ozono, metais pesados ou partículas. A segunda opção implica a melhoria de condições de ventilação e de precipitação, os dois processos principais de limpeza da atmosfera. Quando combinadas, as duas estratégias são muito eficazes.

Convém, no entanto, recordar que o conceito de qualidade do ar é muito complexo porque depende dos requisitos do alvo relativamente ao qual está a ser classificado. Neste

trabalho, o foco principal de análise centra-se na saúde dos seres vivos que usam a baixa atmosfera do espaço urbano portuense. Considerando estes alvos, há um conjunto de propriedades indispensáveis e outras que são desejáveis. É indispensável que o ar na baixa atmosfera mantenha os compostos gasosos comuns como o azoto (78%), o oxigénio (21%) e uma pequena porção (<1%) de vários outros gases, entre os quais o árgon, o dióxido de carbono, o hélio, o metano, o ozono, e hidrogénio. Este cocktail gasoso, ao qual se junta a água nos três estados físicos, é essencial para a prossecução do metabolismo saudável dos seres humanos e de todos os outros seres vivos, designadamente a flora e a fauna urbana. Para além disso é determinante para filtrar as bandas do espectro eletromagnético promotoras de cisão molecular e facilitar a entrada de um leque amplo de bandas espectrais solares, mas que seja opaco aos infravermelhos da irradiação terrestre.

Por outro lado, é desejável que as concentrações de monóxido de carbono, dióxido de azoto, dióxido de enxofre, ozono e PM10 e PM2,5 não aumentem porque são pouco toleradas pelos seres humanos. Os seres humanos, por exemplo, precisam de inalar cerca de 17000 litros de ar por dia em aproximadamente 20000 ciclos respiratórios ininterruptos, cuja concentração de oxigénio tem de ser suficiente para ativar a função respiratória fundamental para o bom funcionamento celular, e exalando dióxido de carbono. Por isso, para a saúde dos seres humanos, é fundamental garantir que o ar envolvente contenha a maior concentração possível de oxigénio e a menor quantidade possível de metais pesados, partículas (PM10 e PM2,5) e dióxidos de carbono ou de azoto.

Figura 52 – Probabilidade de ocorrência de degradação da qualidade do ar.
Adaptado de CMP (2018)



As árvores adultas, por outro lado, precisam de consumir, para além de outros compostos gasosos, cerca de 21kg de dióxido de carbono por ano armazenando-o nos

troncos, ramos, folhas e raízes. Os carvalhos, os castanheiros, os pinheiros e outras coníferas são das espécies com maior capacidade de sequestrar carbono. Ao realizarem a fotossíntese armazenam o carbono e libertam oxigénio para atmosfera (ex: 10000 m² de eucalipto podem emitir cerca de 20 toneladas de oxigénio por ano). Para além do dióxido de carbono, as árvores absorvem também outros elementos presentes na atmosfera como as PM_{2,5}, usando-os como nutrientes (ex: a bétula, o teixo e o sabugueiro).

De acordo com Oke et al. (2017) as maiores concentrações de poluentes atmosféricos são comumente encontradas em ruas com baixo *sky view factor* estreitas e ladeadas por edifícios altos (alto valor da proporção H/W), onde sejam emitidos efluentes provenientes de tráfego rodoviário ou de pequenas e médias unidades industriais. As ruas a jusante da circulação predominante do ar, junto ao solo, coincidentes com condições de travagem dos fluxos de ar, podem ser também muito poluídas, ainda que não tenham qualquer elemento emissor de efluentes para a atmosfera.

Apesar da fragilidade da rede de monitorização da qualidade do ar para o diagnóstico a esta escala espacial, o Porto evidencia indícios de nichos de grande contaminação atmosférica persistente (Figura 52).

A ação das árvores na dispersão e deposição dos poluentes

A utilização das árvores nos espaços urbanos é uma solução cada vez mais considerada, com o propósito de “varrer” da atmosfera as combinações químicas prejudiciais para a saúde humana. Todavia, pelo que se disse anteriormente, elas só serão eficazes se forem plantadas onde conseguem sequestrar, da baixa atmosfera, os elementos indesejáveis ou onde podem propiciar um aumento da ventilação que exporte os poluentes para camadas mais altas da atmosfera ou para fora do espaço urbano. E, para isso, a decisão exige o conhecimento pormenorizado das características naturais e artificiais concretas de cada rua ou troço de rua.

As árvores interferem na qualidade do ar, diretamente, absorvendo alguns compostos gasosos e partículas para se alimentarem e, indiretamente, porque são objetos que geram efeitos de barreira promotores de aceleração ou travagem dos fluxos de ar ou ainda porque ao sombrearem e arrefecerem os espaços subjacentes podem por si só atrair a chegada de ar quente do espaço envolvente. Santiago et al. (2019) afirma que “existem dois efeitos principais induzidos pela vegetação na poluição atmosférica: os efeitos aerodinâmicos, ou seja, as árvores modificam o fluxo do vento ao seu redor, alterando a distribuição de poluentes; e os efeitos de deposição, ou seja, uma fração do poluente é removida do ar a partir da deposição de poluentes nas folhas das árvores e absorção pelos estômatos.”

Num estudo conduzido em Londres (Buccolieri et al., 2018; Jeanjean et al., 2017), na Rua Marylebone, onde há uma alta concentração de poluentes, NO_x e PM₅, devido ao tráfego automóvel, foi demonstrada uma redução nos níveis de poluentes após a introdução de árvores na rua. Essa redução foi estimada em 7,0% por deposição no outono e na primavera e de 7,5% no verão. Apesar de ser um efeito local e interno ao *canyon* urbano, esta redução teria reflexos positivos na qualidade ambiental e na saúde dos residentes. Todavia, a magnitude do impacto das árvores na qualidade do ar da baixa atmosfera depende do tipo e das características físicas e fisiológicas de cada espécie.

As árvores interferem nos ventos que sopram paralelamente ao sentido da via, sendo este, à partida, o melhor cenário de combinação de ventilação e arborização para diminuição de poluentes nas ruas. Consequentemente, de forma geral, a presença de árvores é positiva em ruas de ventilação paralela, desde que as árvores não sejam mais altas que os edifícios (Buccolieri et al., 2018; Jeanjean et al., 2017; Santiago et al., 2019). Já num cenário de ventos oblíquos e perpendiculares, o efeito de deposição de poluentes é mais alto do que o de exaustão aerodinâmica (Jeanjean et al., 2017). Contudo, se as árvores possuírem a copa densa, em ruas de ventilação oblíqua ou perpendicular, os seus efeitos podem ser positivos para a qualidade do ar, dado o efeito de deposição de poluentes nas folhas.

Recomendações

A arborização para efeitos de melhoria da qualidade do ar na baixa atmosfera deve considerar que:

1. O efeito das árvores na dispersão dos poluentes depende da velocidade do vento ao nível da rua e da mistura vertical do ar mais poluído com ar menos poluído em níveis mais elevados;
2. Árvores de copa densa ao longo da rua podem reduzir significativamente a velocidade do vento na baixa atmosfera e impedir a limpeza da atmosfera;
3. As árvores maduras e de copas densas são as maiores sequestradoras de alguns poluentes e as maiores emissoras de oxigénio e vapor de água;
4. Árvores de copa densa promovem sombreamento e o arrefecimento da baixa atmosfera podendo atrair fluxos de ar mais quente de área envolventes mais poluídas;
5. As árvores aumentam as concentrações de poluentes quando a direção dos ventos é perpendicular à orientação da rua e promovem a dispersão de poluentes quando os ventos têm direções paralelas à orientação da rua;
6. As árvores podem criar condições de abrigo promotoras de concentração dos poluentes emitidos *in situ*.

5.2.4. As árvores e a regularização das condições hidrológicas

O ciclo hidrológico urbano

Um dos impactes mais relevantes da artificialização intensa da superfície natural nos espaços urbanizados é aquele produzido no ciclo hidrológico. A impermeabilização do solo e a canalização dos cursos de água, conduzem a uma redução do tempo e da quantidade de permanência da água à superfície (Berland et al., 2017; Mullaney, Lucke e Trueman, 2015). A dificuldade de infiltração da água proveniente da chuva propicia um aumento da quantidade e da velocidade de escoamento da água durante períodos de precipitação

prolongada e/ou intensa, o que tem vindo a ser particularmente grave em tempos de manifestações de mudança climática e de maior frequência de episódios paroxismáticos.

Figura 53 – Coeficiente de escoamento. Adaptado de CMP (2018a)

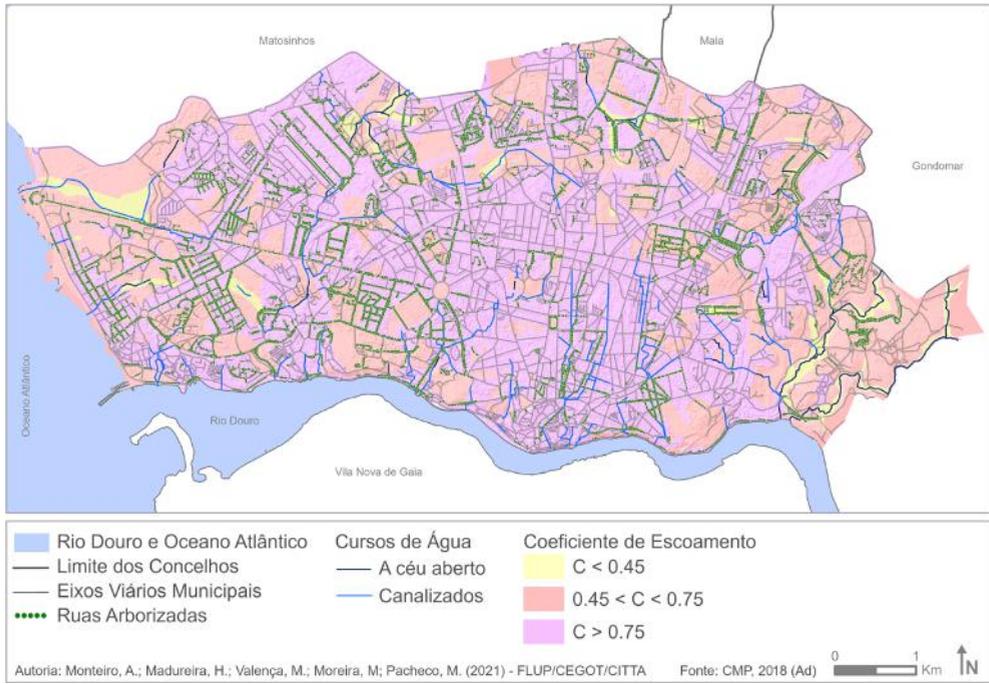
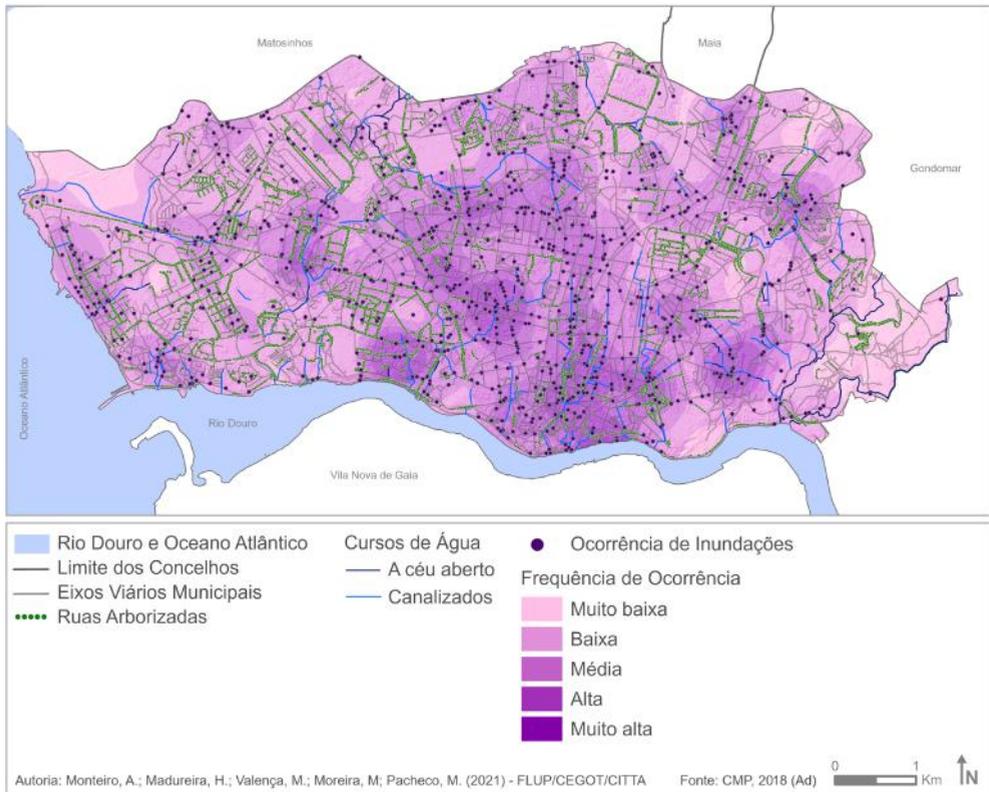
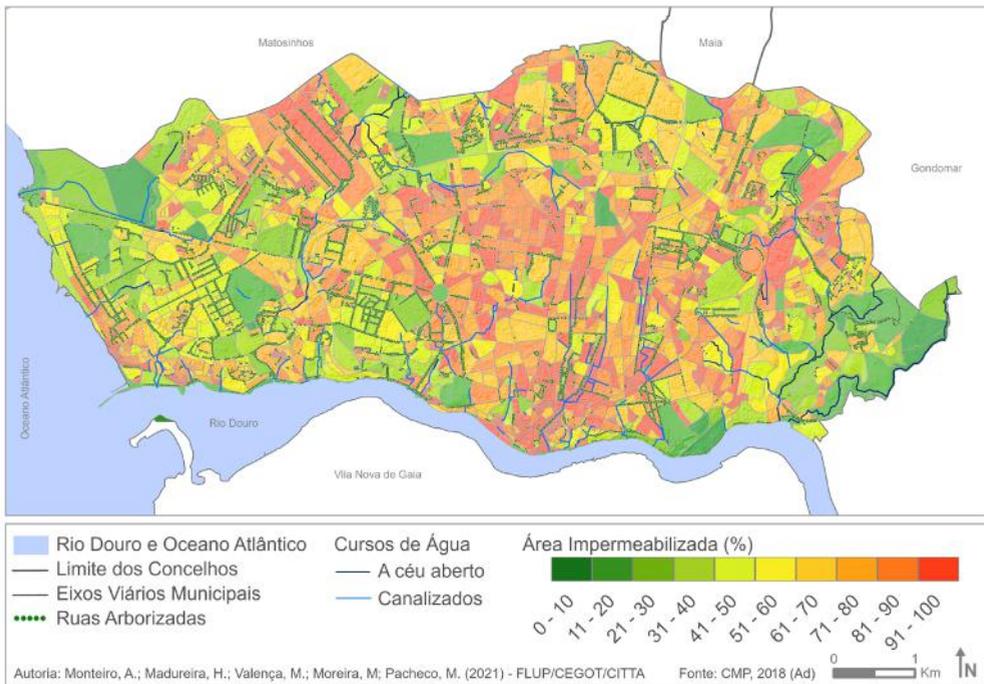


Figura 54 – Ocorrência de inundações entre 1974 e 2014. Adaptado de CMP (2018a)



As evidências científicas da desorganização estacional da distribuição da precipitação no Porto com um aumento da frequência e da gravidade dos eventos extremos de precipitações intensas e de seca têm vindo a originar inundações em várias áreas da cidade, devido aos efeitos cumulativos da impermeabilização do solo urbano, da canalização de cursos de água, e da incapacidade das condutas suportarem os caudais de cheia com impactes de grande severidade no quotidiano da vida urbana causando danos nas propriedades, vias de comunicação e noutras infraestruturas e equipamentos, a interrupção do fornecimento de bens ou serviços básicos, ou desabamentos em áreas de maior declive (Figura 53). De facto, o Porto tem um elevado índice de impermeabilização em grande parte do seu território (Figura 54) e, portanto, apesar da densidade de cursos de água existentes, a maioria está canalizada artificialmente na totalidade ou em grande parte do seu trajeto (Figura 55).

Figura 55 – Área impermeabilizada (%) por subsecção. Adaptado de CMP (2018)



A ação das árvores nas condições hidrológicas locais

A colocação de árvores ao longo das ruas pode ser um instrumento eficaz de adaptação aos riscos provocados pelos eventos extremos de precipitação e de regularização do ciclo hidrológico por: i) diminuir os impactes negativos decorrentes da velocidade e da quantidade da água que chega ao solo; ii) promoverem uma maior distribuição espacial da água precipitada; iii) consumirem uma parte da água que chega ao solo; iv) aumentarem a área permeável em espaço urbano.

Todavia, convém lembrar também que a sua implantação no solo urbano é mais um elemento infraestrutural que modifica as características do subsolo e, em tempo de seca, com a compactação do solo urbano, pode aumentar do risco de abatimento dos pavimentos.

Acresce ainda que se a sua localização não estiver próxima dos fluxos subsuperficiais e subterrâneos de água pode obrigar as raízes a procurar suprir as suas necessidades de água danificando de forma lenta e impercetível o suporte biogeofísico.

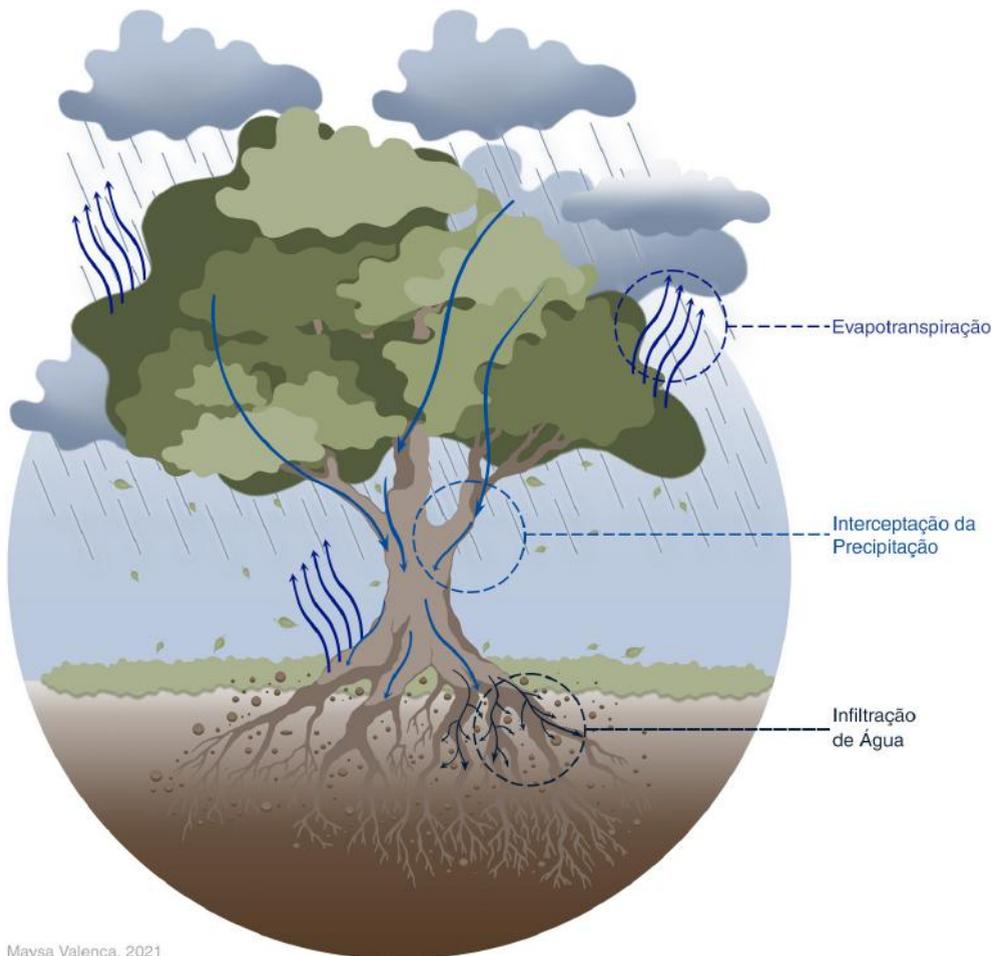


Figura 56 – Impacte das árvores no escoamento superficial

Assim, a escolha das árvores de rua para promover o bom funcionamento do ciclo hidrológico em espaços urbanizados em tempos de manifestações de mudança climática exige uma intencionalidade que tenha em conta as suas competências específicas para a regularização das condições hidrológicas numa determinada área da cidade em concreto. Dentre os benefícios mais relevantes para este fim (Figura 56) salientam-se (Bartens et al., 2008; Berland et al., 2017):

1. A interceção da precipitação, que diminui a quantidade e a velocidade do impacto da água da chuva no solo executado pelas copas das árvores e pelos sistemas radiculares no solo permeável. Uma parte significativa da água intercetada pelas copas das árvores volta à atmosfera pela ação da evaporação. A restante é armazenada temporariamente nas copas, e uma vez atingida a capacidade de retenção, a água desliza até ao solo, onde parte evapora e a restante escoou ou, havendo

condições de permeabilidade, infiltra-se. Este efeito de interceção beneficia, portanto, a dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração através da redistribuição da água da chuva, do amortecimento, e da retenção das águas que chegam. O processo da interceção da precipitação tem uma importância assinalável, não apenas do ponto de vista hidrológico, mas também pelo papel ecológico que desempenha, designadamente por diminuir o escoamento e o risco de erosão. A quantidade de precipitação intercetada depende das características da precipitação, da natureza da superfície e o tipo de árvore. Por exemplo, árvores de copa fechada podem interceptar cerca de 18 a 29% da precipitação que sobre elas incide e as coníferas tem a capacidade de interceptar de 18 a 45%;

2. A evapotranspiração que devolve à atmosfera o vapor de água acumulado nas folhas das árvores e que para além de impedir a chegada ao solo, é também consumidor de energia refrescando o ar ambiente o que, nalguns mosaicos urbanos sobreaquecidos pode ser um benefício adicional muito relevante;

3. A infiltração de água no solo pelas raízes das árvores aumenta a capacidade de infiltração de água, tão dificultada em espaços urbanos. As árvores podem aumentar a infiltração de água no solo em cerca de 60%.

Recomendações

Quanto à arborização de ruas para efeitos de regularização dos processos hidrológicos, deve considerar-se:

1. O contributo para a diminuição da quantidade e velocidade do escoamento superficial e das possíveis consequências negativas como por exemplo as inundações urbanas. As árvores com a copa mais densa são as que têm maior capacidade de interceção da água proveniente da precipitação.

2. As árvores de folha perene e de copa larga são as mais apropriadas para exercer em pleno esta função de interceção da precipitação em contextos climáticos como o portuense, onde a precipitação intensa coincide com a época mais fria do ano.

3. As árvores de folha caduca, nos períodos de senescência das folhas, poderão causar situações de entupimento, se não houver uma manutenção e limpeza do espaço público e das infraestruturas de drenagem. A acumulação destes resíduos poderá causar situações de entupimento, que em alturas de maior precipitação colocará a cidade em maior risco de inundações e cheias urbanas.

5.3. Diagnóstico: oportunidades e constrangimentos das ruas do Porto para arborização

Nesta fase de diagnóstico, refletiu-se sobre o potencial de arborização das ruas e sobre a adequação da arborização existente a estas. Num primeiro momento foi apenas analisado quais as ruas arborizáveis e não arborizáveis da cidade. Nesse sentido, numa primeira

fase, a análise desenvolvida refletiu apenas sobre o potencial de arborização das ruas, determinando quais as que têm largura suficiente para incluir arborização segundo os pressupostos deste trabalho; numa segunda fase, o resultado dessa sobreposição foi ainda cruzado com o tipo de alinhamento e adequação da espécie de árvore.

O presente diagnóstico é, sobretudo, uma reflexão espacial, onde se procurou determinar quais as ruas da cidade que poderão ser arborizadas no futuro e quais poderão estar adequadamente ou inadequadamente arborizadas. A avaliação de uma dada rua arborizada deverá sempre ter em conta o estado fitossanitário, custo/viabilidade da manutenção e adequação da espécie às condições do local (por exemplo, maior exposição à salinidade).

Também se procurou refletir sobre as espécies de árvores existentes na cidade e quais as características que as tornam mais ou menos adequadas para o contexto de arruamento.

Antes disso, importa refletir sobre dois tipos de ruas existentes na cidade com características particulares: as **ruas associadas a espaços parcelares** e as **ruas com arborização associada a desenho urbano de carácter histórico ou referencial**.

Espaços parcelares e ruas associadas

Existem ruas que manifestam arborização, embora esta não esteja implantada diretamente no espaço-canal que as define, mas sim num espaço verde que lhe é imediatamente adjacente; por exemplo, na Avenida de Vasco da Gama as árvores que lhe conferem o carácter de rua arborizada estão implantadas nos espaços verdes adjacentes pertencentes ao Bairro de Campinas (Figura 57). Estes espaços adjacentes ao espaço-canal são denominados na presente reflexão como **espaço parcelar**.

A influência da arborização das ruas também se reflete nos espaços adjacentes a estas, podendo gerar oportunidades se o espaço parcelar permitir a existência da árvore, ou gerar conflitos se o espaço parcelar antagonizar com esta; esta situação é mais evidente em casos de ruas de largura reduzida, como por exemplo na Rua do Dr. Aarão de Lacerda que confina com o Parque Desportivo de Ramalde/INATEL (Figura 57).

Figura 57
Exemplos de ruas associadas a espaços parcelares:



Avenida de Vasco da Gama, onde a arborização do espaço parcelar participa na rua

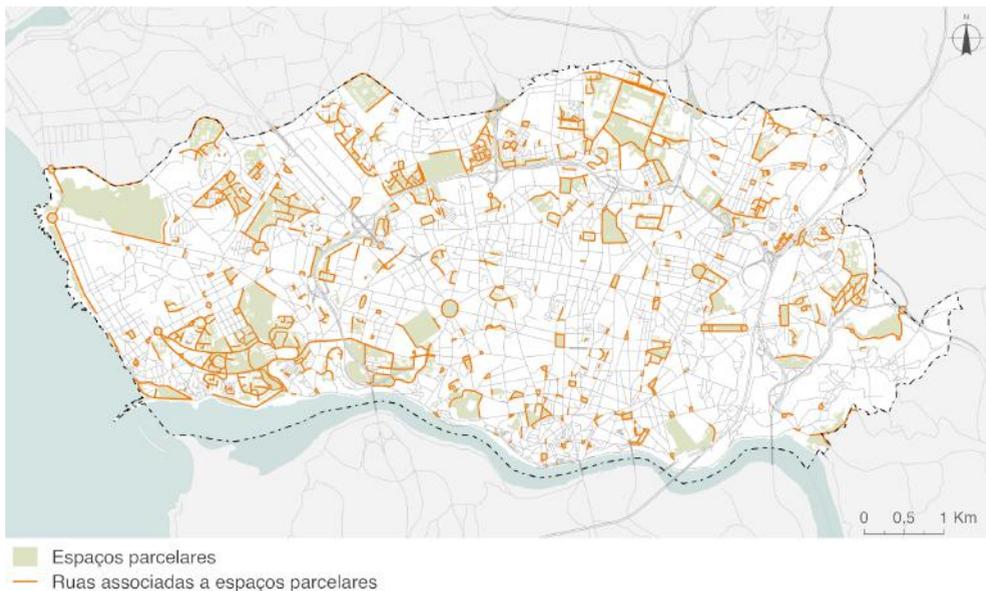


Rua do Dr. Aarão de Lacerda, cuja arborização influencia e é influenciada pelo espaço parcelar adjacente

Os espaços parcelares podem ser de génese pública ou privada, pelo que o planeamento e gestão destes espaços nem sempre estará dependente do município.

Neste sentido, o planeamento da arborização deverá ter em conta o potencial introduzido pela existência de **espaços parcelares** adjacentes às ruas. No contexto do Porto, estes correspondem a espaços abertos não construídos, podendo ter solo permeável e vegetação, como por exemplo jardins ou praças (apenas foram considerados os espaços parcelares com uma área igual ou superior a 300m²). Nestes locais, as árvores implantadas nas ruas terão mais espaço para expandir as suas copas sem gerar conflitos com fachadas de edifícios ou propriedades privadas; igualmente, as árvores implantadas no interior do espaço parcelar podem sobrepor a sua copa sobre o espaço-canal, participando na arborização da rua.

Figura 58 – Mapa das ruas associadas a espaços parcelares, que não são consideradas na fase de diagnóstico



A Figura 58 apresenta, os principais espaços parcelares que poderão influenciar a arborização de arruamento, identificando as ruas a eles associadas. Os troços das ruas sujeitos a esta condição merecem uma avaliação diferente adaptada a este contexto, uma vez que nestes casos o espaço para a árvore não depende apenas da dimensão da rua, gerando espaços muito diferentes; neste sentido, não se enquadram no presente diagnóstico da arborização de arruamento.

Ruas com arborização associada a desenho urbano de caráter histórico ou referencial

Importa também referir o caso específico das ruas com arborização associada a desenho urbano de caráter histórico ou referencial. Estas são ruas arborizadas cuja arborização remonta, pelo menos, à primeira metade do século XX, que refletem ainda algumas características

paisagísticas e/ou arquitetónicas semelhantes às originais e que possuem uma relevância histórica no contexto do Porto. Deste conjunto de **ruas com arborização associada a desenho urbano de carácter histórico ou referencial**, podem destacar-se várias ruas da zona histórica balnear da Foz (por exemplo, a Rua de Gondarém ou a Rua de Marechal Saldanha), a Rua de António Cardoso, a Avenida de Rodrigues de Freitas, a Avenida dos Combatentes da Grande Guerra e alguns troços da Estrada da Circunvalação (Figura 59).

Figura 59 – Mapa das ruas com arborização associada a desenho urbano de carácter histórico ou referencial



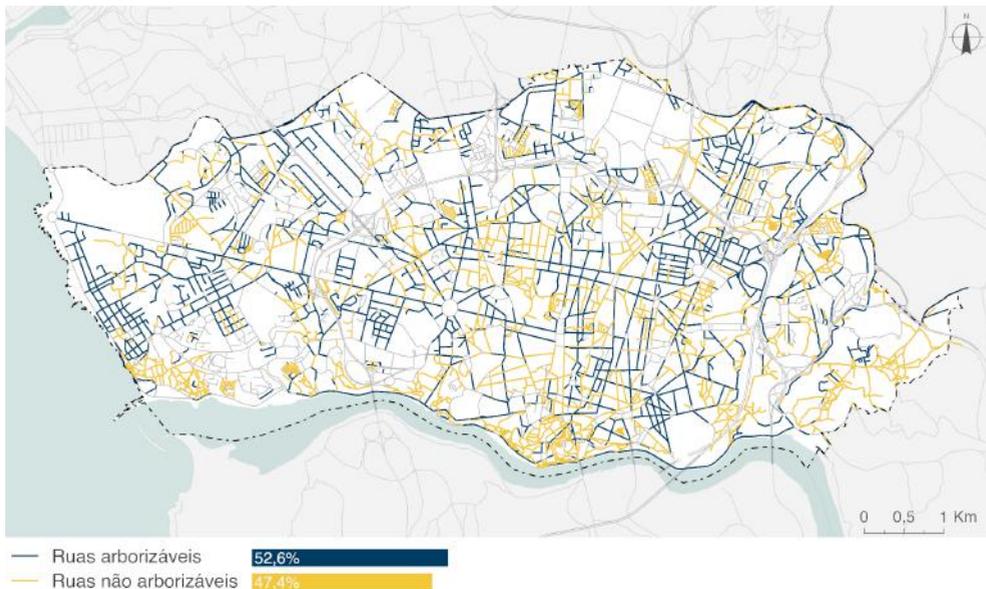
Deste modo, considera-se que o diagnóstico e intervenção nestas ruas deve ter em conta o valor histórico da arborização e não considerar apenas os parâmetros de dimensão preconizados neste trabalho (largura expectável da copa ao fim de 20 a 30 anos que não conflitua com as fachadas e com o mínimo de ações de manutenção – ver capítulos 3 e 4).

5.3.1. Síntese 1 | Potencial de arborização: ruas arborizáveis e não arborizáveis

A avaliação da arborização existente apoia-se na possibilidade de cumprimento dos pressupostos apresentados no capítulo 3. Desta maneira, assume-se a necessidade da existência de corredores essenciais de circulação de pessoas e veículos, sobretudo pessoas com mobilidade reduzida e veículos de emergência de grande dimensão, de acordo com as dimensões mínimas atualmente regulamentadas. Com base nestes princípios, o espaço que a rua oferece é confrontado com as dimensões das árvores que alberga. Considera-se que uma rua tem **potencial de arborização** quando apresenta espaço suficiente para acolher árvores, sem comprometer os fluxos vitais acima indicados, com o mínimo de intervenção até um período de 20 a 30 anos.

Os dados espaciais, apresentados na Figura 60, permitiram distinguir as ruas do Porto em ruas arborizáveis e ruas não arborizáveis.

Figura 60 – Mapa das ruas arborizáveis e não arborizáveis, de acordo com as variáveis espaciais



As **ruas arborizáveis** são aquelas de largura igual ou superior a 10m, que possibilitam a existência saudável e segura de árvores, se observada correta articulação entre largura da rua e largura da copa, sem comprometer os fluxos essenciais de pessoas e veículos de emergência de maiores dimensões, considerando um intervalo de tempo de 30 anos e um esforço mínimo de manutenção das árvores.

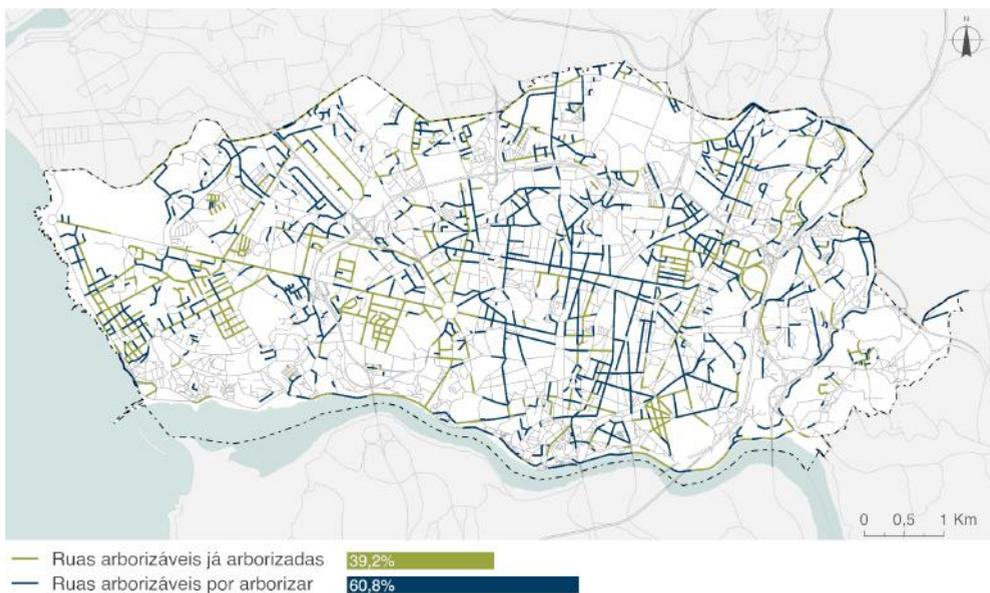
As **ruas não arborizáveis** correspondem às ruas com largura inferior a 10m (ruas muito estreitas). Nestas ruas é difícil cumprir os pressupostos formulados, nomeadamente as condições de fluxos essenciais em simultâneo com a presença da árvore.

Verifica-se que as ruas arborizáveis correspondem a 52,6% (216,5km) do total das ruas elegíveis para esta reflexão (todas as ruas da cidade menos os troços daquelas associadas a espaços parcelares). Igualmente se constata que as ruas não arborizáveis perfazem 47,4% (195,3km) da população em estudo. Daqui se pode inferir que a oportunidade da cidade do Porto para resolver problemas de reforço da estrutura verde à custa da arborização das ruas sugere não ser muito significativa; contudo, os números não revelam a enorme importância das ruas arborizadas como elementos fundamentais de estimulação da conectividade verde e de manutenção da biodiversidade mínima em situações de elevada densidade de urbanização. São assim, para já, elementos qualitativos de enorme valor para cumprir o *continuum naturale* e consumir o metabolismo pleno de uma vida mais saudável na cidade.

Como se pode verificar na Figura 60, as maiores oportunidades para a arborização de arruamento parecem estar concentradas nas zonas ocidental, norte e centro-norte, sendo que a faixa da cidade mais a sul, junto ao rio, parece apresentar mais desafios para uma correta arborização. De entre as ruas arborizáveis deve dar-se prioridade de intervenção

às ruas não arborizadas (Figura 61) nas zonas mais centrais, como por exemplo troços das ruas: Constituição, Serpa Pinto, Camões, João Pedro Ribeiro, Santa Catarina, Alegria, Santos Pousada, Vale Formoso, Antero de Quental. Estas situam-se em zonas de malha urbana densamente edificada e construída, com poucos espaços verdes de acesso público e, por isso, muito carentes de arborização nas ruas. De igual modo, deve-se também priorizar a arborização de ruas que conectam com os concelhos limítrofes, nomeadamente a Rua do Monte dos Burgos e Rua do Amial. É relevante referir que a maior parte das ruas arborizáveis que não estão ainda arborizadas correspondem a ruas estreitas (61,0%) e ruas médias (26,9%), exigindo uma forte perícia na sua organização e desenho de modo a viabilizar a existência de árvores.

Figura 61 – Mapa das ruas arborizáveis, integrando ruas atualmente arborizadas e ruas atualmente não arborizadas



5.3.2. Síntese 2 | Relação do potencial de arborização com a arborização existente

Além de se classificar as ruas arborizáveis em já arborizadas e por arborizar, pode-se adicionalmente classificar segundo o estado atual da sua arborização, do seguinte modo:

Ruas por arborizar ou não arborizadas (ruas arborizadas com potencial de arborização): correspondem aos troços de ruas arborizáveis que não apresentam atualmente a presença dominante de elementos arbóreos.

Ruas arborizadas com espécie inadequada (ruas arborizadas inadequadamente): correspondem aos troços de ruas arborizáveis que estão atualmente arborizados com:

1. espécies de dimensão que não se adequa à largura da rua em que se encontra (por exemplo, espécie de copa larga numa rua estreita; ver Tabela 7);
2. espécies cujas dimensões não cumprem as expectativas de uma árvore de arruamento, de acordo com a reflexão anteriormente formulada (capítulo 3), nomeadamente as que não atingem pelo menos 10m de altura num intervalo de tempo de 20 a 30 anos (ver subcapítulo 5.3.3. e anexo 10.1);
3. espécies de caráter invasor, segundo o Decreto-Lei n.º 92/2019;
4. espécies que não se adequam à condição de arruamento, ou seja, espécies com floração ou frutificação que originam resíduos que possam causar conflitos com os utilizadores (ver subcapítulo 5.3.3. e anexo 10.1).

Ruas arborizadas com espécie adequada (ruas arborizadas adequadamente): correspondem aos troços de ruas arborizáveis que possuem elementos arbóreos que se adequam à largura da rua (ver Tabela 7). Para este parâmetro apenas foi avaliada a combinação da dimensão da espécie, o tipo de alinhamento e a largura da rua, não tendo sido considerados outros fatores, como, por exemplo, a distância do elemento arbóreo às fachadas dos edifícios.

O subcapítulo 5.3.3. descreve com maior detalhe que espécies e cultivares consideradas mais e menos adequadas. Além disso, no anexo 10.1, pode ser consultada uma lista com espécies existentes nas ruas do Porto que se enquadram na categoria de espécies inadequadas para arruamento.

Das ruas já arborizadas, recomenda-se que seja dada prioridade de reflexão às que apresentam arborização com espécie de largura inadequada e que, por isso, requerem revisão da arborização. A revisão da arborização deverá ser feita analisando o custo-benefício que a arborização apresentará no futuro para o município, pesando a viabilidade das árvores

Arborização		Ruas				
Classe de copa	Alinhamento	Ruas muito estreitas (L < 10m)	Ruas estreitas (10 ≤ L < 14m)	Ruas médias (14 ≤ L < 18m)	Ruas largas (18 ≤ L < 26m)	Ruas muito largas (L ≥ 14m)
Sem árvores	Não aplicável					
Árvores de copa estreita (copa ≤ 4m)	Unilateral					
	Central					
	Bilateral					
	Múltiplo					
Árvores de copa média-estreita (4m ≤ copa < 6m)	Unilateral					
	Central					
	Bilateral					
	Múltiplo					
Árvores de copa média-larga (6m ≤ copa < 8m)	Unilateral					
	Central					
	Bilateral					
	Múltiplo					
Árvores de copa larga (8m ≤ copa < 12m)	Unilateral					
	Central					
	Bilateral					
	Múltiplo					
Árvores de copa muito larga (copa > 12m)	Unilateral					
	Central					
	Bilateral					
	Múltiplo					

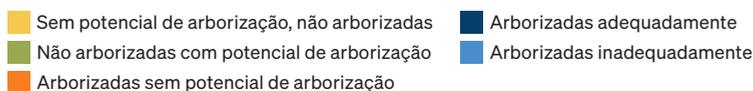


Tabela 7 – Síntese da adequação da arborização tendo em conta a combinação da largura da copa, tipo de alinhamento e largura da rua

5.3.3. Síntese 3 | Espécies e cultivares mais e menos adequados

A presença da árvore na rua oferece diversos benefícios para a vivência da cidade, desde a filtração do ar e regulação do conforto térmico à valorização do espaço público e do edificado. No entanto, a seleção inadequada de espécies e cultivares arbóreos pode gerar

conflitos com os principais fluxos (pessoas e veículos), edificado e infraestruturas que disputam o espaço-canal/rua; esta situação pode ser também pouco favorável à árvore não permitindo o seu bom desenvolvimento ou mesmo conduzindo à sua morte. As espécies e cultivares arbóreos devem ser selecionados tendo em conta as condicionantes ao desenvolvimento da árvore determinadas por cada rua, sendo que o espaço disponível para a existência da árvore será o ponto fulcral. A árvore só deve surgir na rua quando exista o espaço mínimo para a albergar; o seu desenvolvimento deve ser garantido com o mínimo de manutenção (até pelo menos à jovem idade adulta) assegurando um conflito mínimo ou eficientemente controlável com os restantes elementos e funções do espaço-canal.

A seleção da espécie de árvore de arruamento deve atender a alguns princípios, sendo a largura expectável da copa ao fim de 30 anos um dos mais importantes. De um modo geral, considera-se que a classe de largura da copa (subcapítulo 4.2) deve corresponder à classe de largura da rua (subcapítulo 4.4) de modo a otimizar esta relação: ruas estreitas – árvores estreitas; ruas médias – árvores médias (compreendem as árvores de copa média-estreita e média-larga); ruas largas – árvores largas (compreendem as árvores de copa larga e muito larga). No entanto, dependendo do tipo de alinhamento, poderá considerar-se adequadamente arborizado com árvores da categoria de largura de copa superior. Por exemplo, árvores de copa média-larga poderão ser adequadas em ruas estreitas quando utilizadas em alinhamento central (ver Tabela 7).

Figura 62
Espécies de altura potencial não adequada para arruamento:



Ligustrum japonicum. na Rua 5 de Outubro



Cercis siliquastrum na Rua Rui Faleiro

Desta forma procurou-se averiguar quais as espécies de árvores existentes que cumprem a condição formulada. As espécies cuja largura expectável da copa é 4m (árvores de copa estreita), para o cenário temporal considerado, são pouco abundantes no conjunto das árvores de arruamento na cidade do Porto. Neste grupo salientam-se *Camellia japonica*, *Cercis siliquastrum*, *Hibiscus syriacus*, *Lagerstroemia indica*, *Ligustrum japonicum*, *Ligustrum lucidum*, *Magnolia x soulangeana* e *Prunus cerasifera* var. *atropurpureum*. Contudo a maioria das espécies referidas não atinge a altura mínima desejável para uma árvore de arruamento como formulado na hipótese inicial (altura mínima 10/12m). Esta formulação pressupõe que uma árvore de arruamento, no intervalo de tempo de 20 a 30 anos, deve manifestar presença física visível e liderante na rua e essa dimensão (massa foliar) assegurar igualmente um desempenho satisfatório dos principais serviços de ecossistema.

Nesta circunstância, esta condição apenas se verifica com a *Prunus avium*, que apenas surge residualmente nas ruas (14 indivíduos) e não constitui a espécie dominante em nenhuma rua.

Alguns exemplos de ruas arborizadas com espécies estreitas mas de altura não adequada para o espaço-canal são: Rua de Alberto Sampaio (arborizada com *Hibiscus syriacus*), Rua Rui Faleiro (*Cercis siliquastrum*; Figura 62), Rua de D.João Coutinho (*Ligustrum japonicum*), Rua de Cinco de Outubro (*Ligustrum japonicum*, Figura 62), Rua de Justino Teixeira (*Magnolia x soulangeana*), Via Futebol Clube do Porto (*Lagerstroemia indica*) e Rua Professor Joaquim Bastos (*Prunus cerasifera* var. *atropurpureum*). No anexo 10.1 pode ser consultada a lista das espécies com largura insuficiente para o espaço-canal.

Figura 63

Exemplo de ruas adequadamente e inadequadamente arborizadas:



Avenida do Dr. Antunes de Guimarães,
rua média adequadamente
arborizada com árvore de copa média
(*Melia azedarach*)



Rua de António Carneiro, rua estreita inadequadamente
com árvore de copa larga (*Platanus x acerifolia*)

Como apresentado anteriormente (subcapítulo 5.1.2.), existe na cidade uma dominância de espécies de copa larga. Estas espécies podem ser adequadas a ruas largas ou muito largas, dependendo da disposição da arborização/ tipo de alinhamento, não sendo adequadas (na generalidade dos casos) quando colocadas em ruas estreitas ou ruas médias, como é o caso *Platanus x acerifolia* (presente na Rua da Restauração e na Rua de António Carneiro; Figura 63), *Quercus rubra* (Rua de Arménio Losa e Rua de Gama Barros) e *Tilia x europaea* (Rua Dr. Corino de Andrade e Rua de Afonso Lopes Vieira). Em suma, todas as espécies com largura de copa não compatível com a largura da rua tendo, em conta o seu posicionamento na rua (tipo de alinhamento), serão sempre consideradas inadequadas numa rua que não tem dimensão para as albergar.

Apesar de se verificarem várias situações em que a espécie não é adequada para a rua onde foi instalada, também se verificam casos onde a espécie é adequada para rua, como por exemplo, a Avenida do Dr. Antunes Guimarães (rua larga; Figura 63), arborizada com um alinhamento bilateral de *Melia azedarach* (árvore de copa média), e a Rua de Diogo

do Couto, arborizada com um alinhamento central de *Aesculus x carnea* (árvore de copa média). No que respeita a árvores de copa larga bem adequadas a ruas largas pode-se dar o exemplo de *Platanus x acerifolia* na Avenida dos Combatentes da Grande Guerra, *Tilia spp.* na Rua O Primeiro de Janeiro e *Quercus rubra* num troço da Avenida Fernão de Magalhães. Excepcionalmente, e porque não causa ensombramento de fachadas, pode-se ainda referir o exemplo de *Pinus pinea* na Rua Henrique Lopes de Mendonça, espécie perenifólia de copa larga bem articulada neste contexto de rua larga.

A sazonalidade é um fator importante a considerar ao avaliar a adequação das árvores de arruamento, na medida em que as espécies de folha persistente causam uma situação de constante ensombramento de eventuais fachadas de proximidade, e por isso, nestas condições são desaconselhadas. Situações desta natureza são de notar com as espécies de *Ligustrum japonicum* na Rua 5 de Outubro; Figura 70) e Rua de Júlio Dinis, *Ligustrum vulgare* na Rua Professor Agostinho da Silva e *Metrosideros excelsa* na Rua Senhora da Luz.

Figura 64

Exemplos de ruas arborizadas com espécie perenifólia:



Rua 5 de Outubro, arborizada com *Ligustrum sp.*, que causa ensombramento constante



Travessa da Prelada, arborizada, do lado direito, com *Cupressus sempervirens*, que não causa ensombramento de fachadas

No entanto, poderá utilizar-se uma espécie perenifólia em situações especiais onde a presença permanente de uma copa densa no espaço-canal não apresente nenhum constrangimento, como é o caso de ruas que não contactam diretamente com o edificado com janelas, em zonas da rua distantes do edificado (como por exemplo, faixas centrais) ou quando o edificado que contacta com a rua não apresentar janelas (fachada cega). A utilização de espécies arbóreas perenifólias também apresenta benefícios ambientais, como o sequestro do carbono, a interceção da precipitação, a promoção de biodiversidade, a fixação de partículas em suspensão e uma permanente manifestação de verde que pode ser benéfica em alguns locais com elevada densidade de edificação. Como exemplo de casos em a espécie perenifólia não ensombra as fachadas e se torna positiva no espaço

urbano pode indicar-se *Olea europaea* na Rua Henrique Sousa Reis, *Grevillea robusta* na Rua do Barão de Nova Sintra, *Cupressus sempervirens* na Rua de Pedro Hispano e na Travessa da Prelada (Figura 64) e *Pinus pinea* na Rua Henrique Lopes de Mendonça. No entanto, em casos como a Rua D. João Coutinho ou a Rua do Barão de Nova Sintra, apesar da arborização se localizar junto de fachadas cegas ou na ausência de edificado, esta pode ser um problema devido à localização inapropriada das árvores no passeio que dificultam a passagem dos peões, especialmente os de mobilidade reduzida.

Importa ainda referir dois casos em particular. A espécie *Jacaranda ovalifolia* é uma espécie de folha caduca cuja sazonalidade é relativamente desfasada do fotoperíodo do hemisfério norte, pois começa a perder a folha no fim do inverno podendo, neste período, causar negativo ensombramento de fachadas ou de espaços de estadia no exterior. A sua utilização começa a vulgarizar-se na cidade, sendo neste momento (2021) presente em ruas como a Avenida da Boavista. *Acer platanoides* é outra espécie que revela problemas de sazonalidade, apesar de dominante em algumas ruas e de em muitas situações se verificar boa adequação entre a largura da rua e a largura da copa; com efeito, nas condições bioclimáticas do Porto, ganha folhas muito tarde, já em alta primavera (fim de maio) e perde-as muito cedo, não acompanhando eficientemente as necessidades de ensombramento que logo que se começam a fazer sentir na primavera. Vivem um longo período sem folhas, aspeto pouco interessante, sobretudo em zonas urbanas densamente construídas e edificadas nas quais urge a manifestação de elementos vegetais.

Figura 65
Exemplo de uma rua arborizada com:



Uma espécie autóctone
(*Fraxinus angustifolia* na Rua Dr. Roberto Frias)



Uma espécie com estatuto de invasora
(*Acer negundo* na Rua do Campo Alegre)

No estudo realizado no subcapítulo 5.1.2., foram também analisados dois parâmetros importantes para a biodiversidade do ecossistema urbano: a origem das espécies e o carácter invasor. Apenas 20% das ruas arborizadas manifestam dominância de espécies autóctones, sendo as restantes 80% dominadas por espécies alóctones. Perante este quadro seria importante aumentar a percentagem de ruas arborizadas com espécies autóctones de modo a estimular a biodiversidade nativa, sobretudo espécies mais especialistas. Da mesma maneira, o uso mais parcimonioso de espécies alóctones poderá diminuir a probabilidade de algumas se tornarem invasoras com todos os problemas ecológicos e económicos daí decorrentes.

De entre as espécies autóctones mais relevantes na paisagem das ruas indicam-se, por exemplo, *Acer pseudoplatanus*, *Celtis australis* e *Fraxinus angustifolia* (Figura 65). Notam-se ainda alguns pequenos troços com outras espécies como *Quercus robur* na Avenida de Fernão de Magalhães e *Quercus suber* na Rua do Professor Manuel Baganha.

De entre as espécies registadas, a mais abundante que apresenta caráter invasor é *Acer negundo*, dominante na Rua do Campo Alegre (Figura 65). É ainda importante referir outras ruas arborizadas com *Acer negundo*, como por exemplo Rua do Padre Fernão Cadim e Rua do Dr. António Bernardino de Almeida. Apesar de não ter destaque ao nível da cidade, existem ruas arborizadas com outras espécies invasoras como *Acacia* sp. na Rua de Entre Campos e *Robinia pseudoacacia* na Via Panorâmica. Importa também destacar o caso das espécies *Ligustrum japonicum*/*Ligustrum lucidum*, que apesar de não serem classificadas como espécies invasoras segundo o Decreto-Lei n.º 92/2019, revelam um comportamento invasor nesta região, desaconselhando-se a sua utilização. Uma árvore de arruamento tem uma expectativa de vida mais reduzida que uma árvore noutro tipo de espaço urbano e também se espera que esta atinja a maturidade o mais cedo possível. A velocidade de crescimento é um fator determinante para o sucesso de uma dada arborização, visto que uma maior rapidez de crescimento significa que a árvore atingirá a dimensão esperada num horizonte de 20 anos. *Acer pseudoplatanus*, *Celtis australis*, *Liquidambar styraciflua*, *Platanus x acerifolia*, *Populus nigra* e *Quercus rubra* são alguns exemplos de espécies de crescimento médio a rápido, logo que podem facilmente atingir as dimensões esperadas nesse horizonte temporal.

Figura 66
Exemplos em que as raízes da árvore e o pavimento entraram em conflito e se verifica levantamento do pavimento:



Cercis siliquastrum na Rua Engenheiro Carlos Amarante



Sophora japonica na Rua de Barbosa du Bocage

Outra característica importante a ter em conta é o tipo de sistema radicular. É importante assegurar que as raízes têm espaço para se desenvolver, assegurando que tenham um espaço mínimo ao nível do subsolo, sem entrar em conflito com infraestruturas essenciais, como redes de drenagem pluvial, abastecimento de água, telecomunicações, etc. O sistema radicular das árvores vai sempre desenvolver-se de acordo com as condições do local de implantação, procurando situações mais favoráveis para onde se propagam. É importante lembrar que quanto maior é a parte aérea da árvore, mais espaço necessita subterraneamente para as suas raízes, sendo que a grande maioria se desenvolve nas camadas superiores do solo e não em profundidade. Por esta razão, ao espaço aéreo

disponível deve corresponder igual espaço subterrâneo, corroborando a ideia de que árvores de grande porte não se adequam a ruas de menores dimensões.

Um problema amplamente identificado nos arruamentos arborizados é o conflito entre as raízes e as estruturas construídas, que é geralmente causado pela ausência de previsão do espaço que estas necessitam para o seu desenvolvimento, a médio e longo prazo. Também é fundamental a qualidade do solo/substrato; é tanto mais favorável a presença de solo pouco compactado, com porosidade adequada e com matéria orgânica para o crescimento radicular; a falta desta oportunidade traduz-se normalmente em situações de conflito com os pavimentos e outras estruturas construídas. Durante as visitas de campo verificaram-se alguns casos em que esta situação é muito evidente como os exemplos da Figura 66.

Além destas recomendações em relação às condições presentes na rua, também se pode procurar selecionar uma espécie com sistema radicular com maior tendência a desenvolver uma raiz principal vertical (sistema radicular pivotante) na sua juventude. No entanto, salienta-se que com o desenvolvimento natural da árvore, esta irá desenvolver mais as suas raízes lateralmente. Algumas das espécies existentes que desenvolvem este tipo de sistema radicular são: *Acer platanoides*, *Acer pseudoplatanus*, *Aesculus hippocastanum* e *Platanus x acerifolia*. No entanto, é necessário ter em conta que estas espécies são de médio e grande porte, pelo que não se adequam a espaços mais exíguos.

Na cidade do Porto, fatores ambientais como a poluição urbana, a salinidade e o vento, são também importantes ao avaliar a adequação de uma dada espécie às ruas. Em algumas ruas da Foz, verificou-se a predominância de espécies com muita ou alguma tolerância à salinidade, como por exemplo *Metrosideros excelsa* no troço mais ocidental da Avenida da Boavista, *Platanus x acerifolia* na Rua do Marechal Saldanha e *Populus spp.* na Rua do Molhe, o que ilustra o impacto desta condicionante ambiental. Importa, também, salientar o caso da *Ceiba speciosa* presente em alguns troços mais ocidentais da Avenida da Boavista, pois é uma espécie que sugere baixa resistência à poluição atmosférica e/ou à salinidade; esta condição verificou-se nas visitas de campo, onde se encontraram vários exemplares de aspeto menos vigoroso.

Tendo em conta a reflexão apresentada, podemos concluir que as espécies dominantes existentes que revelam melhor adaptação ao ecossistema das ruas da cidade (desde que a largura da rua lhes seja compatível) são *Platanus x acerifolia*, *Celtis australis*, *Liquidambar styraciflua*, *Tilia sp.*, *Acer pseudoplatanus*, *Aesculus hippocastanum* e *Fraxinus angustifolia*. Todas estas espécies são adequadas para arborização de arruamento desde que se encontrem devidamente posicionadas na rua.

As *Tilia spp.* são no Porto árvores com um elevado desempenho no ecossistema urbano de ruas, parques e jardins, a nível ecológico, estético e referencial. São particularmente interessantes na maturidade (idades superiores a 20–30 anos) sobretudo as da espécie *Tilia tomentosa*, que adquirem dimensões imponentes, marcadas por uma copa natural regular, em forma de chama larga (“planta tílias que daqui a cinquenta anos tens árvores centenárias...” alguém proferiu...). Contudo, é também nesta idade mais madura e plenitude de desenvolvimento que causam maiores problemas de queda súbita sobretudo se plantadas perto de circuitos ou zonas de estadia frequentados por pessoas. Assim, e apesar do bom desempenho referido, a sua presença atual e futuras plantações destas espécies devem ser evitadas nas ruas, sobretudo se não houver uma perspetiva da sua

substituição após atingirem a idade adulta. Se assim não for, terá que haver um acrescido, frequente e atento esforço de monitorização fitossanitária e uma sinalização das zonas de risco sobretudo em face de condições meteorológicas que se estimem adversas.

As espécies mais comuns que não se consideram interessantes ou que devem ser evitadas são: *Acer negundo* (caráter invasor), *Ligustrum japonicum/lucidum* (caráter invasor, altura e sazonalidade não apropriadas), *Prunus cerasifera* var. *atropurpureum* (altura e frutificação não apropriadas).

6. O futuro da arborização das ruas do Porto

A oportunidade da cidade do Porto para resolver problemas da sua estrutura verde à custa da arborização das ruas parece não ser muito significativa de acordo com os resultados obtidos, uma vez que apenas 38,5% do total das ruas da cidade são consideradas **arborizáveis**. Conclui-se assim que as ruas arborizáveis que foram identificadas constituem oportunidades preciosas para realizar a conectividade verde na cidade (além de todos os outros benefícios da arborização urbana), requerendo assim um atento cuidado no ordenamento e desenho do seu espaço disponível de modo a maximizar a presença sustentável e duradoura da árvore e dos serviços de ecossistema que dela resultam.

O principal foco do presente capítulo será o conjunto das **ruas arborizáveis** do Porto. Como referido anteriormente (subcapítulo 5.3.1.), uma rua é considerada arborizável quando apresentar uma largura igual ou superior a 10m e não for adjacente a um espaço parcelar. Estas consistem nas ruas que possuem potencial de arborização, isto é, apresentam uma compatibilidade entre a dimensão dos elementos arbóreos e as dimensões exigidas pelas funções vitais para uma vivência segura e sustentável da rua (circulação pedonal e de veículo de emergência e resgate); também foi considerado neste âmbito uma minimização do conflito entre as copas das árvores, os limites de propriedades e o edificado, sobretudo para o intervalo de tempo de 20 a 30 anos (ver capítulo 3. Princípios orientadores e principais conceitos). A arborização das ruas associadas a espaços parcelares merece uma atenção especial, de modo a afinar a articulação do arvoredo de arruamento com a oportunidade do espaço parcelar; no entanto, a arborização destes espaços e das ruas associadas não será abordada neste trabalho, devido à sua complexidade e variabilidade.

6.1. Orientações para a definição de uma rede de arborização para o município

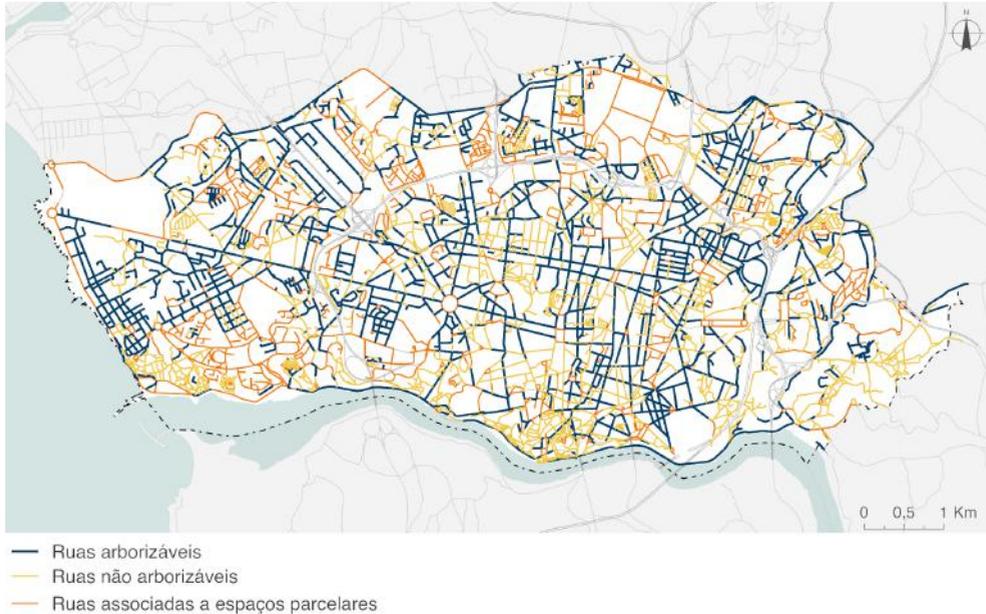
As **ruas arborizáveis** da cidade do Porto ocupam uma extensão de 216,5km, correspondendo a 38,5% do total de ruas da cidade.

A arborização de ruas muito estreitas (largura inferior a 10m) ou ruas não arborizáveis é, de um modo geral, não recomendada de modo a garantir a minimização de conflitos; contudo, devem procurar-se alternativas adequadas a cada contexto no sentido de promover a presença de vegetação nestas ruas (fachadas verdes, árvores isoladas em pontos estratégicos, etc.). A Figura 67 apresenta as ruas arborizáveis que poderão ser integradas numa rede de arborização da cidade.

A arborização de arruamento melhora significativamente a vivência da rua para os seus utilizadores de diversos modos: 1) atua sobre as condições bioclimáticas da rua, nomeadamente em relação à temperatura, humidade e ventilação; 2) melhora as condições do ambiente urbano através do sequestro de dióxido de carbono, libertação de oxigénio, filtração e adsorção de partículas poluentes e mitigação da poluição sonora; 3) regula os efeitos de episódios extremos de precipitação, melhorando também o escoamento superficial e a infiltração da água pelo solo e subsolo; 4) promove o uso da rua por peões e a utilização de modos suaves de mobilidade, contrariando os efeitos nefastos do

sedentarismo na saúde; 5) contribui de um modo geral para a saúde mental, ao promover sensações e experiências sensoriais positivas derivadas do contacto e observação de elementos da natureza. Neste sentido, revela-se importante potenciar a arborização de uma cidade, especialmente nas zonas mais intensamente utilizadas pelos cidadãos.

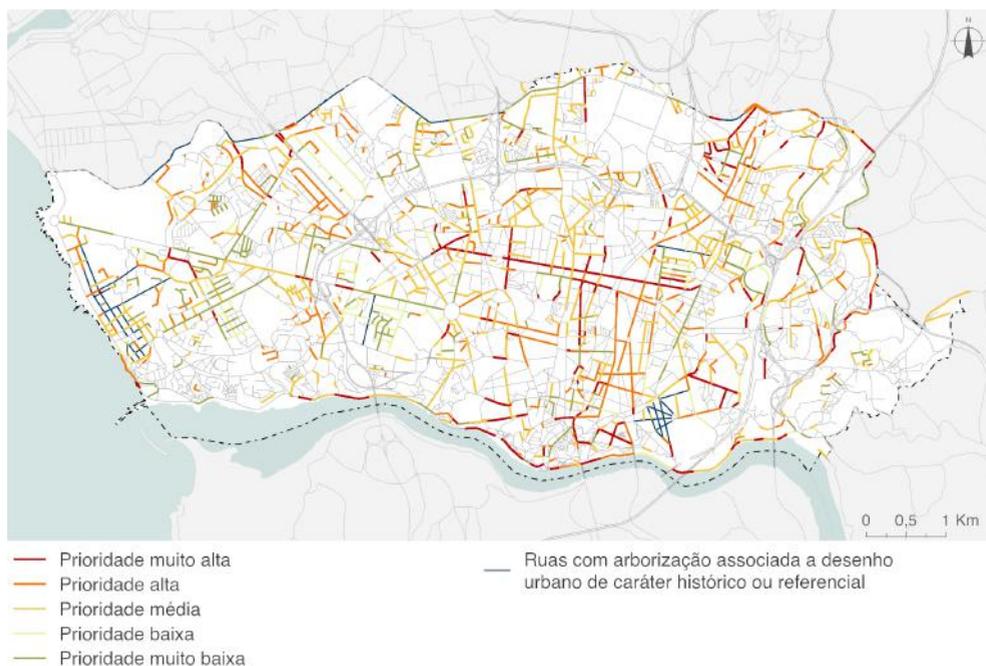
Figura 67 – Rede de ruas arborizáveis da cidade do Porto



Simultaneamente, a arborização de arruamento assume um papel fundamental no funcionamento ecológico, principalmente ao reforçar a conectividade biofísica entre os diversos espaços naturais e verdes da cidade. A presença contínua de vegetação ao longo de uma rua arborizada contribui positivamente para a manutenção de habitats, é fonte de refúgio e alimento de várias espécies de fauna e flora, sendo essencial para a sua movimentação e dispersão entre diferentes espaços, contribuindo assim para a qualidade da biodiversidade à escala local e regional.

Idealmente, todas as ruas arborizáveis da cidade deveriam ser arborizadas, com a maior brevidade possível, para que os seus utilizadores pudessem beneficiar de todo o potencial que cada rua pode oferecer. Como isto é de difícil concretização, poderá ser benéfica a criação de uma escala de prioridades, que auxilie o município a seleccionar quais as ruas a intervir em primeiro lugar, de acordo com os diversos instrumentos de planeamento (Farinha-Marques *et al*, 2022). No âmbito deste trabalho foi estudada uma proposta de uma rede de prioridades de arborização baseada nas estratégias de planeamento já estruturadas pelo município no Plano Diretor Municipal em vigor (CMP, 2020b). Deste modo, a rede de prioridades foi baseada em três parâmetros principais: Arborização existente, Rede de conexão da Estrutura Ecológica Municipal e Rede de mobilidade suave. O cruzamento destes parâmetros com as classes de largura das ruas permitiu ordenar as ruas arborizáveis segundo uma escala de cinco níveis de prioridade de intervenção no que concerne a arborização: 1) prioridade muito alta; 2) prioridade alta; 3) prioridade média; 4) prioridade baixa; e 5) prioridade muito baixa.

Figura 68 – Rede prioritária de arborização, organizada por níveis de prioridade



O mapa da Figura 68 revela a necessidade de arborizar as ruas da zona mais central da cidade (no interior da VCI), que corresponde também às áreas mais densamente construídas e sem muitos espaços verdes de acesso público.

Contudo, a cidade encontra-se em constante mudança e desenvolvimento, o que cria oportunidades de arborização. Intervenções em infraestruturas subterrâneas ou reperfilamentos de ruas poderão constituir oportunidades para se pensar sobre a arborização urbana e criar ruas arborizadas. Tendo isto em conta, no subcapítulo seguinte pretende-se demonstrar como as ruas poderão arborizadas, através de modelos de arborização.

6.2. Modelos de arborização de arruamento

6.2.1. Introdução aos modelos

Os modelos de arborização pretendem dar uma orientação sugestiva a aplicar nas ruas arborizáveis do Porto, dependendo da sua largura (Figura 69). Foram assim deduzidos modelos para:

Ruas estreitas: com largura igual ou superior a 10m e inferior a 14m (45,7% das ruas arborizáveis);

Ruas médias: com largura igual ou superior a 14m e inferior a 18m (27,7% das ruas arborizáveis);

Ruas largas: com largura igual ou superior a 18m e inferior a 26m (18,0% das ruas arborizáveis);

Ruas muito largas: com largura igual ou superior a 26m (8,6% das ruas arborizáveis).

Figura 69 – Mapa das ruas arborizáveis, de acordo com os critérios de dimensão do espaço



Tendo em conta a largura das ruas, a largura expectável da copa e o tipo de alinhamento (ver capítulo 3 (rua mínima arborizável) e subcapítulo 4.3) foi realizado um estudo de oportunidades de arborização, onde se cruzaram estas 3 variáveis. Deste estudo foram seleccionadas algumas 18 composições, para desenvolver com maior pormenor, por serem as que apresentam maiores benefícios. Esta seleção incidiu sobre as composições que sugerem melhor desempenho no que diz respeito à sua simetria, facilidade de execução, depuração e harmonia; foram ainda privilegiadas as composições que permitem tirar partido da maior árvore possível, sempre considerando a minimização dos conflitos com os outros elementos e funções da rua.

Os modelos de arborização propõem composições de árvores de diferentes dimensões considerando várias hipóteses para a sua localização, no âmbito do **espaço público**, isto é, dentro dos **limites laterais da rua**. Isto significa que se pretende que a arborização pública se resolva nesses limites, minorando conflitos com as propriedades privadas confinantes.

Para a criação dos modelos, foram considerados os **três componentes fundamentais** de uma rua arborizada: 1) a arborização, 2) a mobilidade pedonal e 3) a mobilidade viária, garantindo sempre o cumprimento das dimensões mínimas para o espaço de implantação da árvore (caldeira ou faixa permeável contínua; subcapítulo 4.2) e para os fluxos essenciais (capítulo 3). Todos os modelos de arborização são ilustrados com uma representação em corte e em planta, indicando assim mais claramente a espacialização dos diferentes componentes tanto no sentido transversal, como no sentido longitudinal da rua.

Modelo	Árvores	Alinhamento	Largura da rua (m)			
			10 Estreita	14 Média	18 Larga	26 Muito Larga
1	Copa estreita	Unilateral	Realçada	Esbatida	Esbatida	Esbatida
2	Copa média-larga	Central	Esbatida	Realçada	Realçada	Realçada
3	Copa estreita	Bilateral	Esbatida	Realçada	Esbatida	Esbatida
4	Copa média-estreita	Bilateral	Esbatida	Realçada	Esbatida	Esbatida
5	Copa larga	Central	Esbatida	Esbatida	Realçada	Realçada
6	Copa média-larga	Bilateral	Esbatida	Esbatida	Realçada	Esbatida
7	Copa média-larga	Central duplo	Esbatida	Esbatida	Realçada	Realçada
8	Copa média-larga + copa estreita	Múltiplo (central + laterais)	Esbatida	Esbatida	Realçada	Realçada
9	Copa muito larga	Central	Esbatida	Esbatida	Realçada	Realçada
10	Copa larga	Bilateral	Esbatida	Esbatida	Realçada	Realçada
11	Copa larga	Central duplo	Esbatida	Esbatida	Realçada	Realçada
12	Copa larga + copa média-larga	Múltiplo (central + laterais)	Esbatida	Esbatida	Realçada	Realçada
13	Copa larga + copa média-larga	Múltiplo (central + laterais)	Esbatida	Esbatida	Realçada	Realçada
14	Copa média- larga +copa média-estreita	Múltiplo (central duplo + laterais)	Esbatida	Esbatida	Realçada	Realçada
15	Copa muito larga	Bilateral	Esbatida	Esbatida	Esbatida	Realçada
16	Copa muito larga	Central duplo	Esbatida	Esbatida	Esbatida	Realçada
17	Copa muito larga + copa média-larga	Múltiplo (central + laterais)	Esbatida	Esbatida	Esbatida	Realçada
18	Copa larga + copa média-estreita	Múltiplo (central duplo + laterais)	Esbatida	Esbatida	Esbatida	Realçada

Tabela 8 – Apresentação dos modelos de arborização, organizados de acordo com a largura de rua recomendada para a sua aplicação. Nota: a cor realçada remete à situação otimizada correspondente aos modelos de arborização desenvolvidos; a cor esbatida representa uma situação possível, mas não otimizada de acordo com os modelos desenvolvidos

Por motivos operativos e para simplificação, a representação do **espaço da arborização** restringe-se ao espaço necessário para a implantação da árvore, ao nível do solo e pavimentos. Salienta-se, no entanto, que o metabolismo e a sobrevivência da árvore dependem da preservação de todo o seu espaço vital e não só desta zona à superfície; tem necessariamente de se ter em conta que a arborização vai ter um efeito impactante em todos os seus espaços confinantes, bem como sobre outros elementos da rua e seus utilizadores. Esta influência provoca modificações na rua, as quais devem constantemente ser monitorizadas e adequadas durante o ciclo de vida das árvores, como por exemplo:

modificação dos pavimentos, modificação do microclima (mais sombra e mais humidade), modificação da biodiversidade, modificação da qualidade estética e referencial.

Nos modelos, o espaço da arborização é representado em banda, que pode traduzir-se, na prática, numa faixa permeável contínua ou num conjunto de caldeiras individualizadas. Para além de proporcionar um melhor desempenho no que diz respeito à escorrência e infiltração da água, a opção por faixas permeáveis contínuas oferece também melhores condições para o desenvolvimento do sistema radicular da árvore, garantindo maior volume de solo e menor probabilidade de perturbação das raízes. Embora o zonamento associe este espaço à arborização, considera-se compatível a coincidência com outros usos; por exemplo, as áreas associadas a alinhamentos centrais podem comportar zonas de circulação e estadia pedonal, bem como as áreas entre caldeiras associadas a alinhamentos laterais podem ser usadas para zonas de estadia ou estacionamento paralelo.

Cada modelo inclui, obrigatoriamente, dois **espaços para a mobilidade pedonal (ou espaços pedonais)**, associados aos limites laterais da rua. Estes são os locais com maior predisposição para a ocorrência de circulação pedonal, incluindo a de pessoas com mobilidade reduzida, que devem permitir a circulação ao longo da rua e o acesso a edifícios e propriedades. Consoante as necessidades e o espaço disponível em cada rua, a zona definida como espaço pedonal pode incluir também zonas de estadia ou ciclovias segregadas.

Os **espaços para a mobilidade viária (ou espaços viários)** garantem a circulação de veículos de emergência de grandes dimensões e, por isso, oferecem condições para a presença de tráfego automóvel e de outros veículos (motorizados ou não). Dependendo da largura da rua, este espaço pode integrar um diverso número de vias de circulação, ciclovias segregadas ou estacionamento. Em algumas situações pode ser pertinente reservar este espaço para uso pedonal, nunca comprometendo o corredor recomendado para a passagem do veículo de emergência. No caso de o corredor pedonal e o corredor viário serem totalmente contíguos, a largura para o corredor de emergência poderá ser garantida pela soma da largura dos dois espaços.

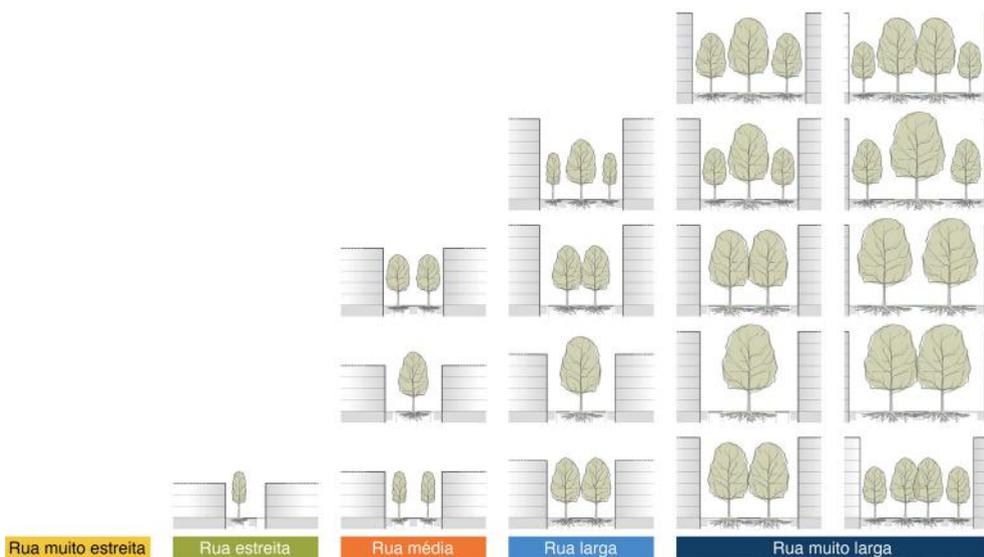


Figura 70 – Modelos de Arborização organizados pela classe de largura de rua a que se aplicam

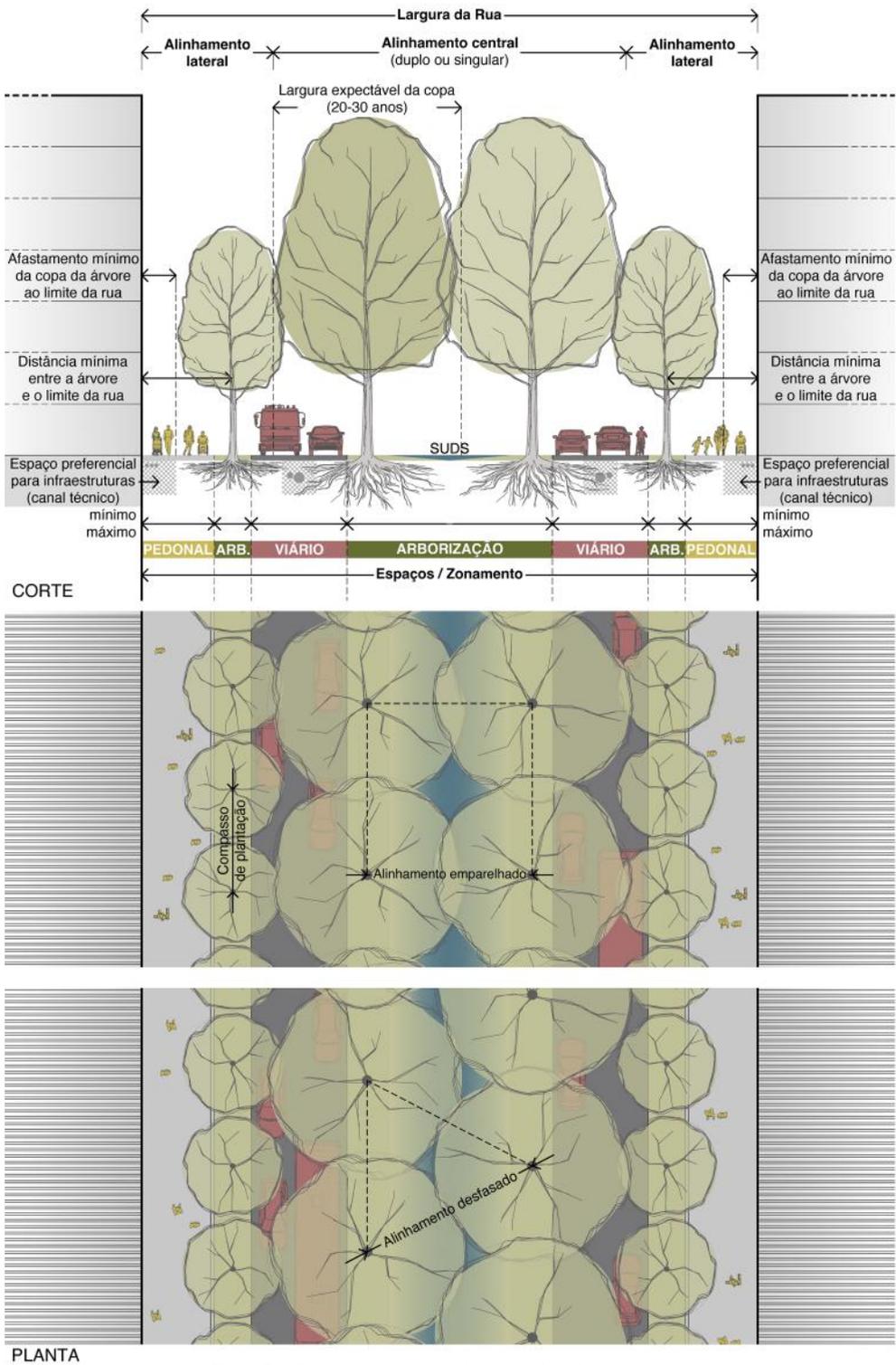


Figura 71 – Representação geral de um modelo de arborização, salientando os principais componentes e suas dimensões

A Figura 71 explica o conteúdo dos modelos, no que concerne ao seu zonamento e dimensões associadas aos componentes mais importantes. É indicado, em cada modelo, um intervalo de largura considerado adequado para cada tipo de componente, que pode variar em função da largura da rua ou das funções que se pretende que acolha.

O espaço da arborização está intrinsecamente ligado com o tipo de alinhamento que se procura implementar, pois este definirá a localização das árvores. De uma forma simplificada, aplicaram-se quatro tipos de alinhamento principais: o unilateral, o bilateral, o central e o múltiplo, sendo este último uma combinação de alinhamentos centrais e laterais.

Considerações gerais sobre o espaço da arborização e os tipos de alinhamento

No **alinhamento central**, a árvore localiza-se ao centro da rua, libertando o restante espaço para outras funções. Além disso, permite a utilização da maior árvore possível em desenvolvimento natural, minimizando a probabilidade de conflito com as fachadas ou limites da rua. Este alinhamento poderá permitir um aumento significativo da área permeável da rua, sendo que também poderá gerar oportunidades de recreio e estadia na faixa central de arborização. Em casos de alinhamentos centrais duplos, o espaço da arborização cria grandes oportunidades de espaço entre as fileiras de árvores que podem albergar soluções ambientalmente muito interessantes como, por exemplo, zonas especialmente orientadas para a recolha e infiltração de águas pluviais.

Por sua vez, o **alinhamento bilateral** é um modelo mais tradicional e flexível que permite conciliar arborização simétrica com outros usos, como por exemplo, estadia ou estacionamento. Contudo, a colocação da árvore próxima às laterais da rua obriga invariavelmente à utilização de uma espécie de copa mais reduzida, de modo a permitir o seu crescimento natural sem necessidade de intervenção frequente, garantindo o devido afastamento das fachadas. Assim, verifica-se que o coberto arbóreo será relativamente reduzido quando comparado com outros modelos, nunca conseguindo ocupar mais de um terço da área da rua.

No **alinhamento múltiplo**, o espaço de arborização central configura sempre uma faixa permeável contínua, mas os espaços laterais poderão tomar a forma de faixa contínua ou de caldeiras individualizadas. No último caso, será possível conciliar o espaço da arborização com outros usos, como estadia ou estacionamento, mas com consequências ao nível da redução da permeabilidade e, possivelmente, da redução do coberto arbóreo, devido ao aumento do compasso de plantação.

Para a promoção da permeabilidade e da biodiversidade, deverá considerar-se a solução de **faixa permeável contínua**, pois esta providencia maior superfície de infiltração e melhores condições de habitat e de solo para a flora e para a fauna na rua. A opção de plantar as árvores em **caldeira** poderá trazer oportunidade para ocorrência de outros usos entre as árvores; no entanto, isto resulta na diminuição da permeabilidade geral e eventual diminuição do coberto arbóreo devido ao aumento do compasso de plantação (por exemplo, a criação de dois lugares de estacionamento entre caldeiras exige um afastamento de 12m entre as árvores, que limitará a hipótese do entrechoque de copas).

6.2.2. Modelos para ruas estreitas

Modelo 1 – Rua estreita com alinhamento unilateral de árvores de copa estreita

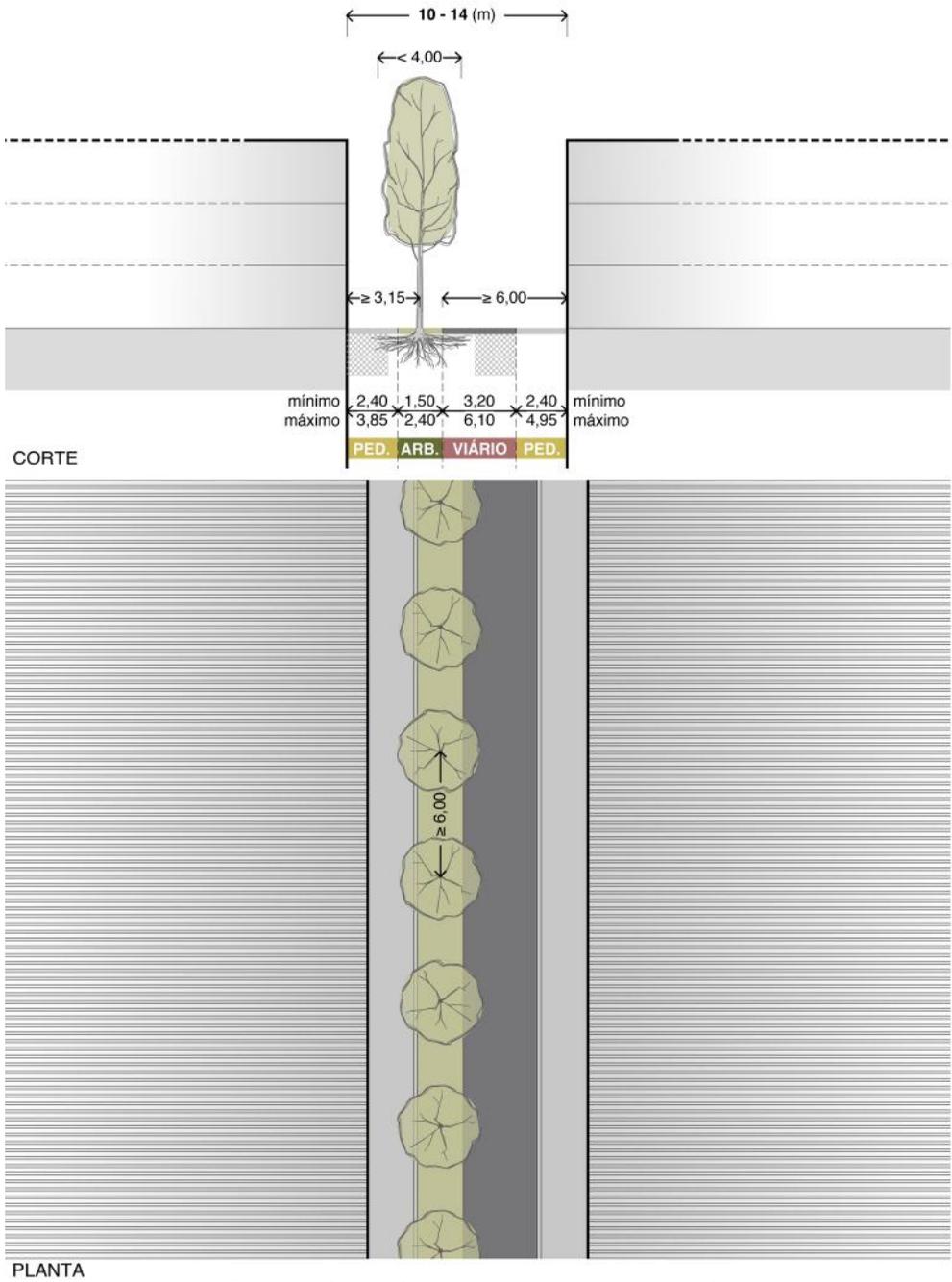


Figura 72 – Representação do modelo 1, em corte e em planta

Especificações	
Largura da rua	Igual ou superior a 10m e inferior a 14m
Tipo de alinhamento	Unilateral
Classe de largura de copa	Estreita (inferior a 4m) – ver Tabela 2, subcapítulo 4.2.1.
Distância entre eixo de implantação da árvore e o limite lateral da rua	Mínimo 3m
Compasso de plantação recomendado	Mínimo 6m
Localização do espaço da arborização	Entre o espaço pedonal e o espaço viário
Largura do espaço da arborização	Entre 1,50 e 5,60m

Tabela 9 – Especificações do modelo 1

Modelo de arborização desenvolvido para ruas estreitas utilizando um alinhamento unilateral de árvores de copa estreita. No caso particular de ruas estreitas com largura superior a 12m, será ainda possível a utilização de uma árvore média-estreita (4 a 6m), o que obriga a que seja implantada mais distante da fachada (distância mínima de 4m).

O espaço da arborização pode traduzir-se numa faixa permeável contínua ou em caldeiras individualizadas. Os espaços de mobilidade pedonal encontram-se junto dos limites laterais da rua, com uma largura compreendida entre 2,40m e 3,90m (do lado da arborização) ou 5,40m (do lado oposto à arborização). O espaço de mobilidade viária situa-se aproximadamente ao centro da rua, com largura compreendida entre 3,20m e 7,70m; dependendo da sua largura, pode compreender uma ou duas vias de circulação, ciclovias segregadas ou estacionamento.

O espaço disponível numa rua estreita dificulta a conciliação das funções essenciais da rua com a arborização. Este modelo inviabiliza a simetria da rua, pois apenas permite árvores num dos seus lados, podendo ser menos interessante do ponto de vista estético e funcional. Para compensar esta desigualdade, o modelo prevê a alternância dos lados arborizados ao longo de troços sequenciais (ver exemplo 2). Em ruas com orientação nascente-poente, a arborização deve localizar-se ao longo das fachadas viradas a sul (mais expostas ao sol), procurando evitar-se a alternância. A arborização com apenas um alinhamento de árvores estreitas gera um coberto arbóreo bastante reduzido; de modo a aumentar o interesse ecológico deste modelo, isto poderá ser compensado com o incremento da largura da faixa permeável contínua e recurso a uma árvore ligeiramente maior (para o caso das ruas superiores a 12m).

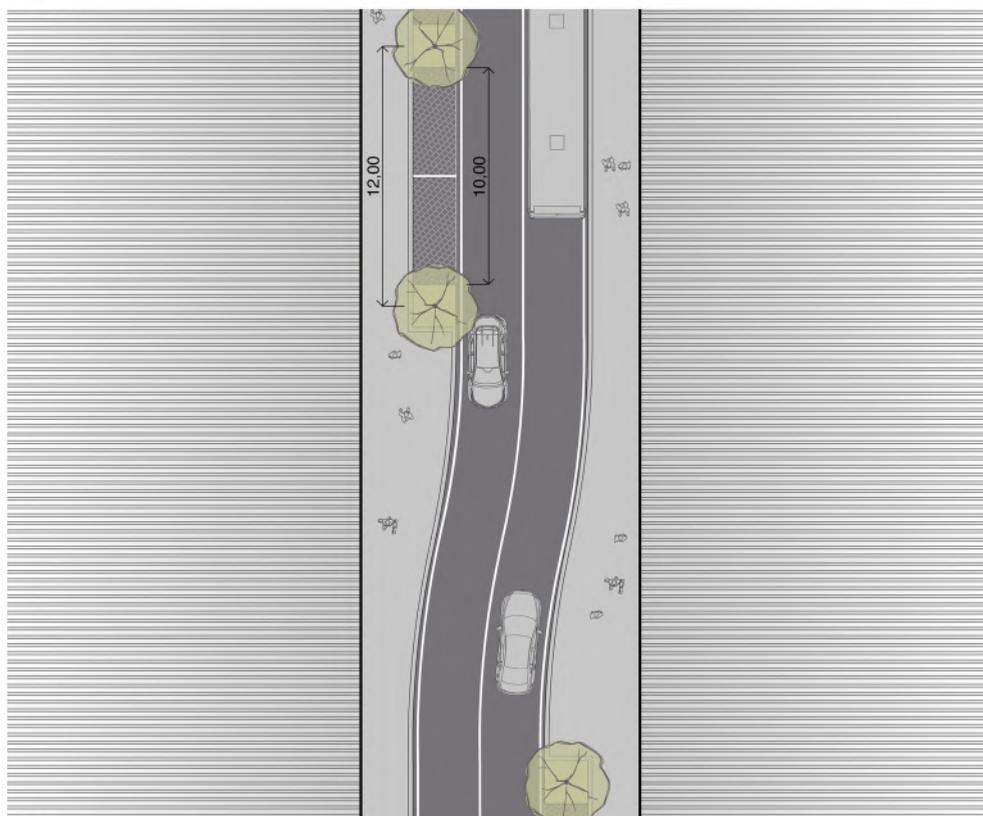
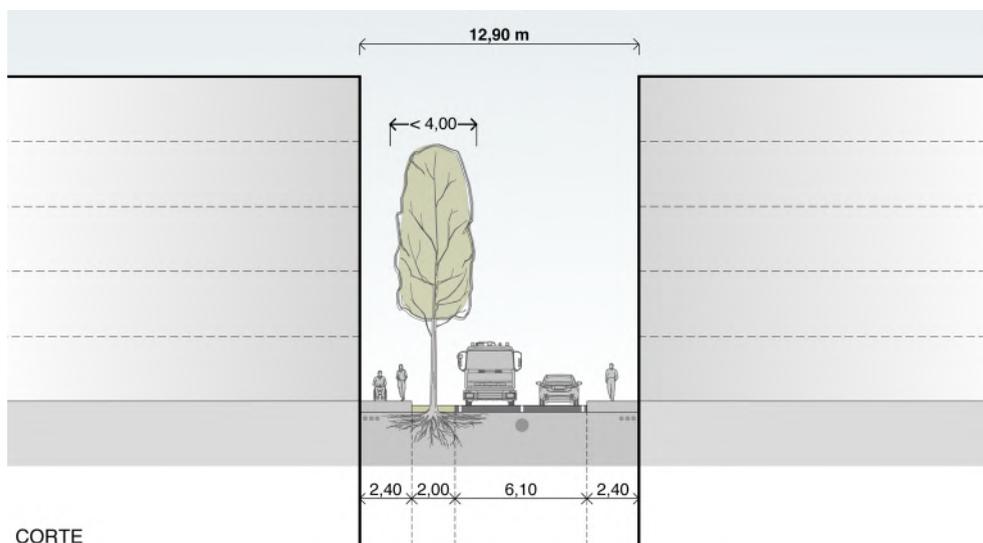
A aplicação deste modelo é demonstrada nos exemplos 1 e 2 (Figura 73, Figura 74).

Página seguinte:

Figura 73 – Exemplo de aplicação do modelo 1 numa rua com 10,40m, com uma via de trânsito e arborização em faixa contínua alternada com espaço de estadia

Exemplos simplificados de aplicação e visualização de um modelo para uma rua estreita

Exemplo 1 – Rua estreita (10,40m) com alinhamento unilateral de árvore de copa estreita, do tipo bordo de copa estreita (*Acer campestre* ‘William Caldwell’), liquidâmbar de copa estreita (*Liquidambar styraciflua* ‘Slender Silhouette’) ou bétula de copa estreita (*Betula pendula* ‘Obelisk’).



Exemplo 2 – Rua estreita (12,90m) com alinhamento unilateral alternado de árvores de copa estreita, do tipo ginkgo de copa estreita (*Ginkgo biloba* ‘Barabits Fastigiata’), faia de copa estreita (*Fagus sylvatica* ‘Dawyck Gold’) ou tramazeira de copa estreita (*Sorbus aucuparia* ‘Sheerwater Seedling’).

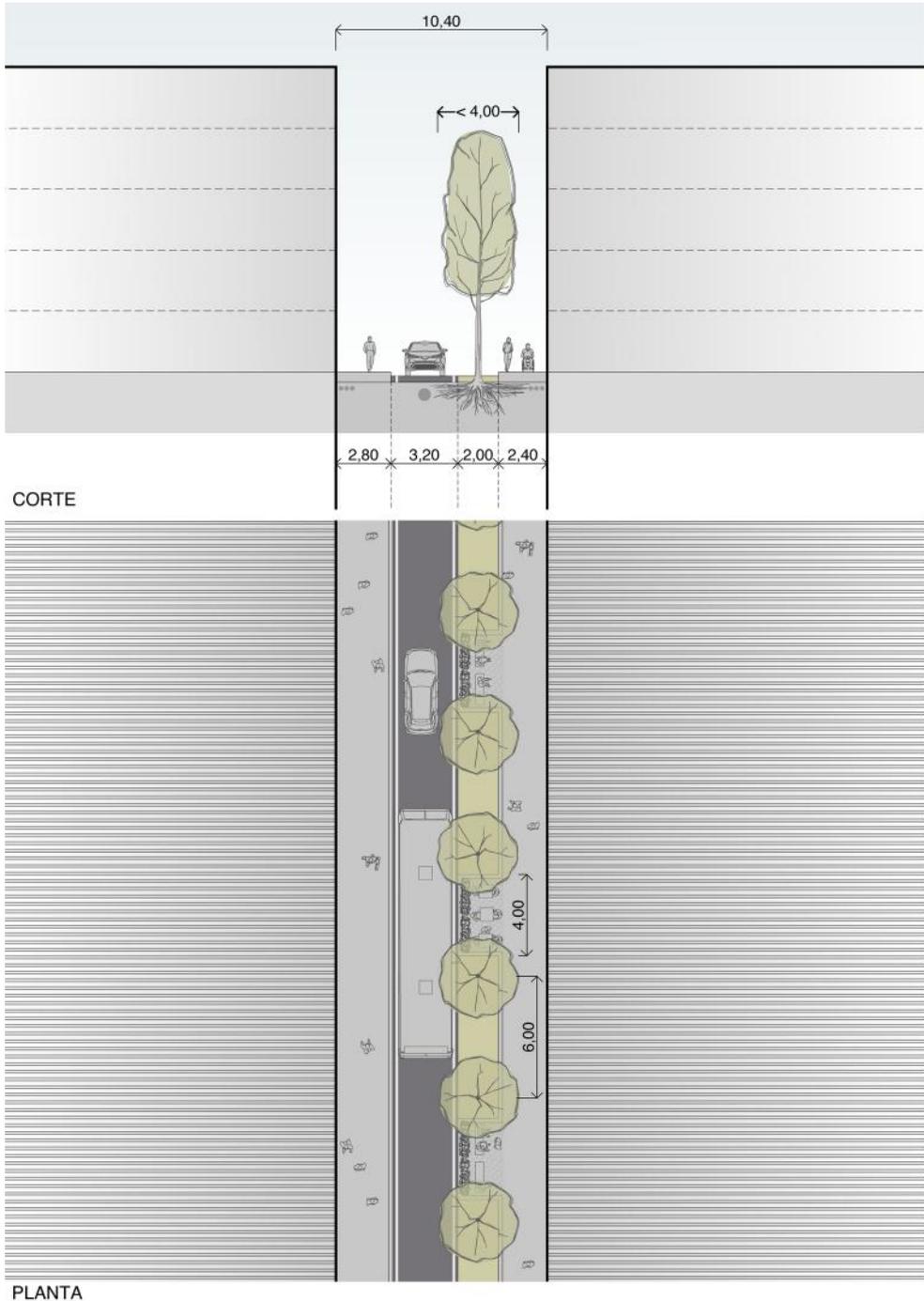


Figura 74 – Exemplo de aplicação do modelo 1 numa rua com 12,90m, com duas vias de trânsito e arborização em caldeira alternada com estacionamento

Visualização realista da aplicação do modelo 1 para rua estreita, baseado no exemplo 2



Vista de topo



Vista ao eixo da rua



Vista do passeio

Figura 75 – Exemplo de aplicação do modelo 1 numa rua com 12,90m, com alinhamento unilateral alternado de árvores de copa estreita, do tipo ginkgo de copa estreita (*Ginkgo biloba* 'Barabits Fastigiata'), faia de copa estreita (*Fagus sylvatica* 'Dawyck Gold') ou tramazeira de copa estreita (*Sorbus aucuparia* 'Sheerwater Seedling')

6.2.3. Modelos para ruas médias

Modelo 2 – Rua média com alinhamento central de árvores de copa média-larga

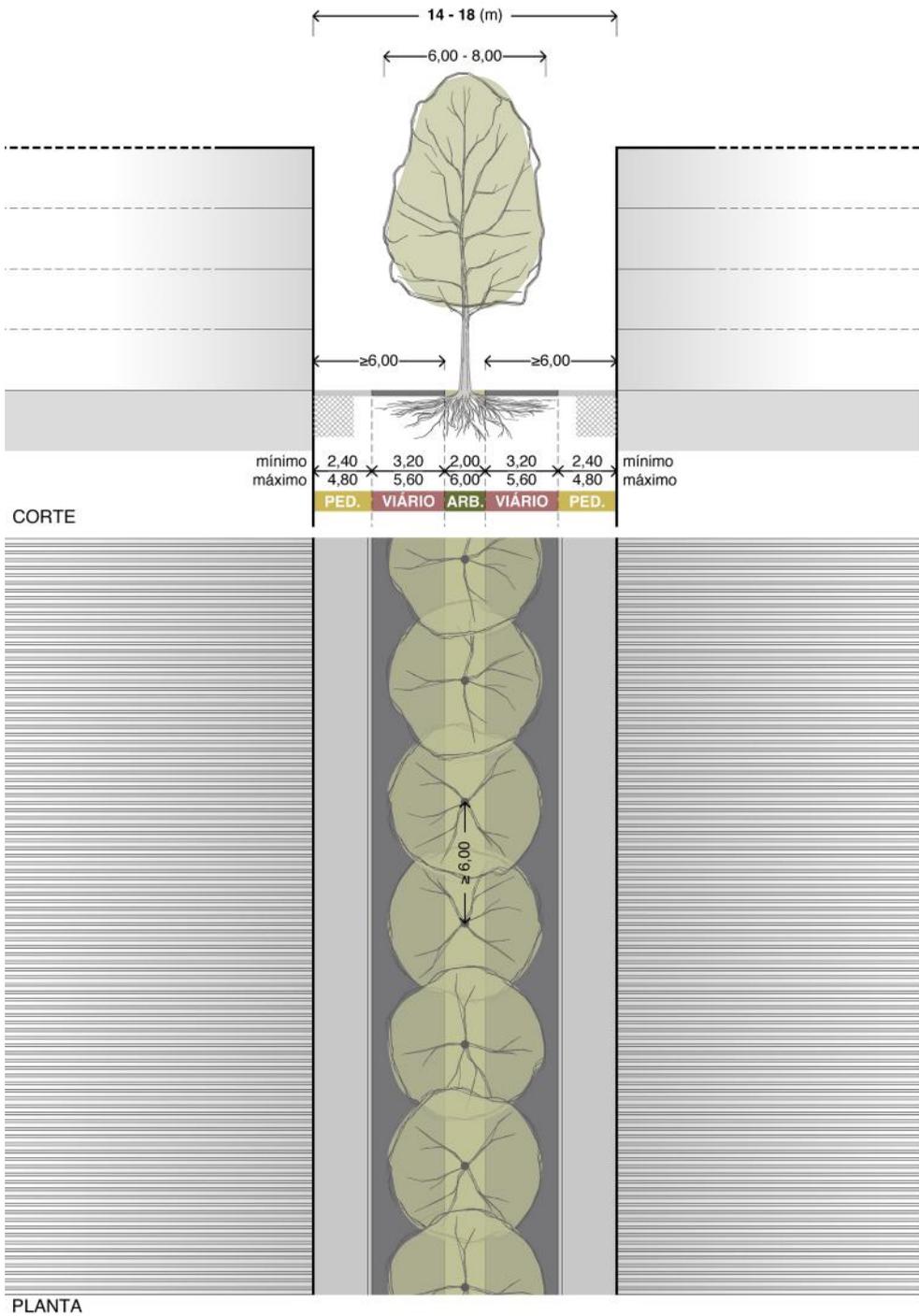


Figura 76 – Representação do modelo 2, em corte e em planta

Especificações	
Largura da rua	Igual ou superior a 14m e inferior a 18m
Tipo de alinhamento	Central
Classe de largura de copa	Média-larga (igual ou superior a 6m e inferior a 8m) <i>ver Tabela 4, subcapítulo 4.2.3.</i>
Distância entre eixo de implantação da árvore e o limite lateral da rua	Mínimo 8m
Compasso de plantação recomendado	Mínimo 6m
Localização do espaço da arborização	Ao centro da rua
Largura do espaço da arborização	Entre 2 e 6m

Tabela 10 – Especificações do modelo 2

Modelo de arborização para ruas médias de largura igual ou superior a 14m e inferior a 18m, utilizando um alinhamento de árvores de copa média-larga posicionadas ao centro da rua. Deste modo, o espaço da arborização consiste numa faixa permeável contínua central, com largura entre 2m e 6m.

Os espaços de mobilidade pedonal encontram-se junto dos limites laterais da rua, com uma largura compreendida entre 2,40m e 4,80m; para além da circulação pedonal, podem ainda incluir-se áreas de estadia. Existem dois espaços de mobilidade viária, um de cada lado da faixa central, com largura compreendida entre 3,20m e 5,60m. Dependendo da largura da rua, cada um dos espaços viários poderá acolher uma ou duas vias de circulação, ciclovia segregada ou estacionamento.

Esta espacialização simétrica possibilita as mesmas oportunidades de funções e fluxos em ambos os lados da rua. É relevante realçar que este modelo potencia ainda o seu interesse ecológico, pelo facto de permitir um canal contínuo de permeabilidade verde na faixa central, assim como pelo recurso à maior árvore possível.

Modelo 3 – Rua média com alinhamento bilateral de árvores de copa estreita

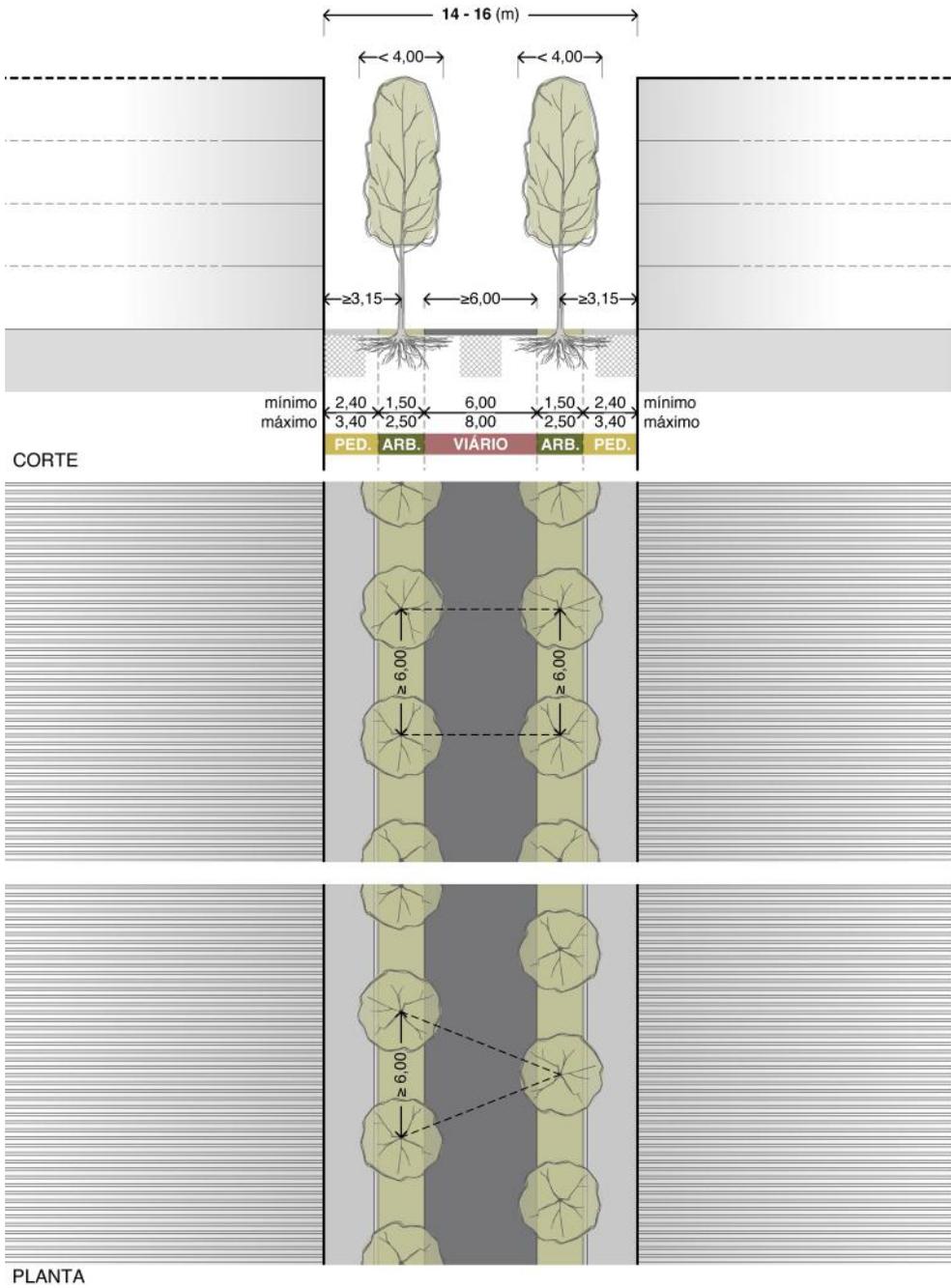


Figura 77 – Representação do modelo 3, em corte e em planta

Especificações	
Largura da rua	Igual ou superior a 14m e inferior a 16m
Tipo de alinhamento	Bilateral
Classe de largura de copa	Estreita (inferior a 4m) <i>ver Tabela 2, subcapítulo 4.2.1.</i>
Distância entre eixo de implantação da árvore e o limite lateral da rua	Mínimo 3m
Compasso de plantação recomendado	Mínimo 6m
Localização do espaço da arborização	Entre os espaços pedonais e os espaços viários
Largura do espaço da arborização	Entre 1,50 e 2,50m

Tabela 11 – Especificações do modelo 3

Modelo de arborização adequado a ruas médias, de largura igual ou superior a 14m e inferior a 16m, recorrendo a alinhamentos lateral de por árvores de copa estreita, situados entre os espaços pedonais e o espaço viário, criando uma separação clara entre estes. O espaço da arborização poderá traduzir-se, ao nível do solo, numa faixa permeável contínua ou em caldeiras individualizadas, que deverão ter uma largura entre 1,50m e 2,50m.

Os espaços de mobilidade pedonal, adjacentes aos limites laterais da rua, apresentam uma largura compreendida entre 2,40m e 3,40m. O espaço de mobilidade viária localiza-se ao centro da rua, com uma largura compreendida entre 6m e 8m; dependendo da sua largura, este pode incluir uma ou duas vias de circulação, ciclovia segregada ou estacionamento.

Este modelo oferece uma solução mais tradicional, permitindo conciliar a arborização com outros usos, como por exemplo estacionamento. Contudo, a colocação da árvore próxima às laterais da rua obriga invariavelmente à utilização de uma espécie de copa mais reduzida, de modo a permitir o seu crescimento natural sem necessidade de intervenção frequente, garantindo o devido afastamento das fachadas. Assim, verifica-se que o coberto arbóreo será relativamente reduzido quando comparado com outros modelos, nunca conseguindo ocupar mais de um terço da área da rua.

Modelo 4 – Rua média com alinhamento bilateral de árvores de copa média-estreita

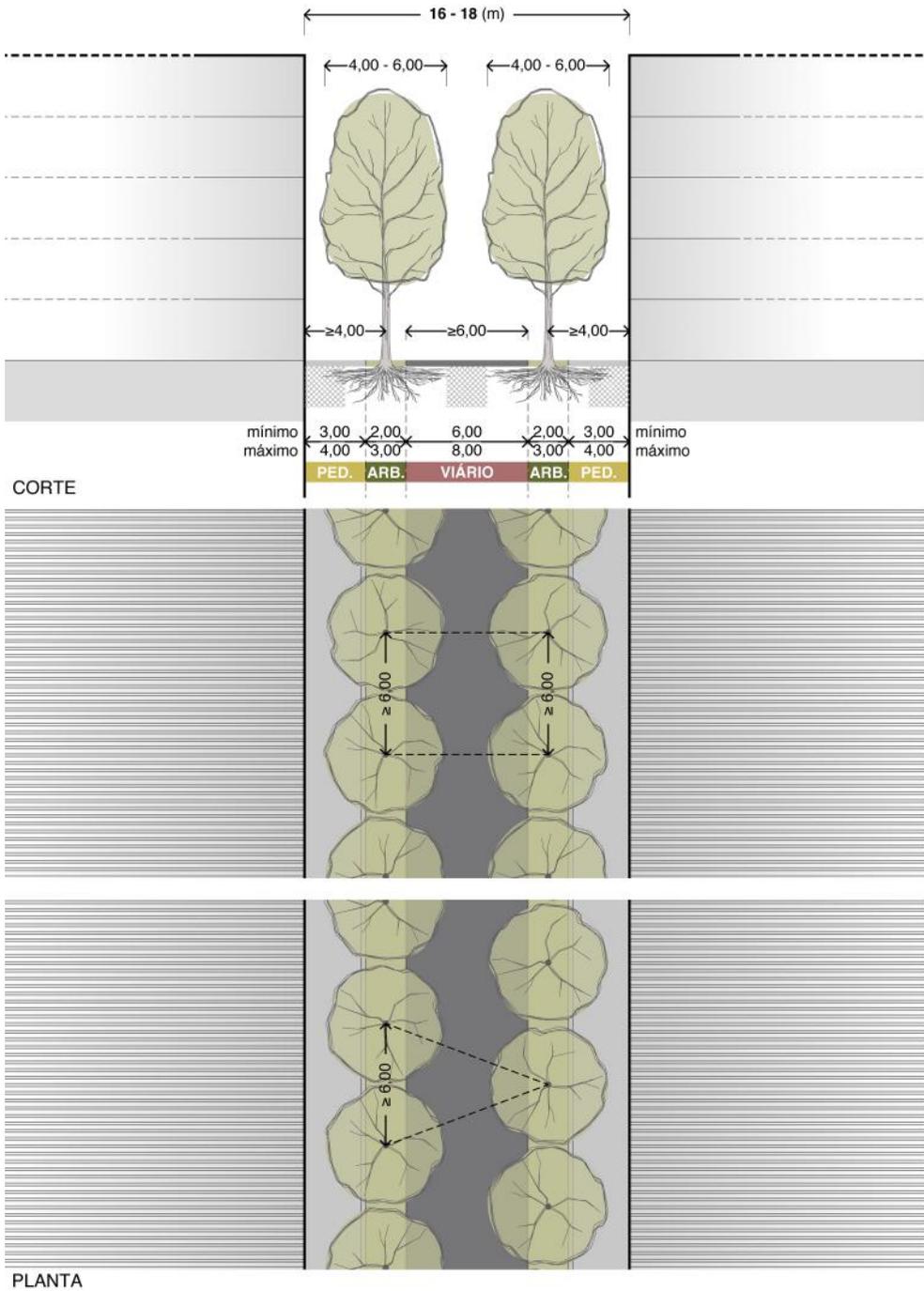


Figura 78 – Representação do modelo 4, em corte e em planta

Especificações	
Largura da rua	Igual ou superior a 16m e inferior a 18m
Tipo de alinhamento	Bilateral
Classe de largura de copa	Média-estreita (igual ou superior a 4m e inferior a 6m) <i>ver Tabela 3, subcapítulo 4.2.2.</i>
Distância entre eixo de implantação da árvore e o limite lateral da rua	Mínimo 4m
Compasso de plantação recomendado	Mínimo 6m
Localização do espaço da arborização	Entre os espaços pedonais e os espaços viários
Largura do espaço da arborização	Entre 2 e 3m

Tabela 12 – Especificações do modelo 4

Modelo de arborização apropriado para ruas médias, de largura igual ou superior a 16m e inferior a 18m, recorrendo a alinhamentos laterais de árvores de copa média-estreita. Este modelo cria dois corredores para a arborização, que geram uma óbvia separação entre os espaços pedonais e o espaço viário. Cada espaço de arborização pode apresentar uma largura entre 2m e 3m, e poderá manifestar-se sobre a forma de faixa permeável contínua ou de caldeiras individualizadas.

Os espaços de mobilidade pedonal situam-se junto aos limites laterais da rua, com uma largura compreendida entre 3m e 4m. O espaço de mobilidade viária localiza-se ao centro da rua, com uma largura compreendida entre 6m e 8m; dependendo da sua largura, este pode incluir uma ou duas vias de circulação, ciclovias segregadas ou estacionamento.

Numa rua média com mais de 16m de largura é possível recorrer a uma árvore de copa média-estreita, aumentando assim os benefícios que desta se obtém (face a uma árvore de copa estreita; ver Modelo 3). A dimensão da árvore, aliada ao seu posicionamento lateral, contribui também para o aumento do espaço pedonal, criando maiores oportunidades para circulação e estadia dos utilizadores da rua. A ocorrência de outros usos no espaço da arborização, como estadia ou estacionamento, resulta em menor área permeável e coberto arbóreo em detrimento a uma faixa contínua. Considera-se, por isso, que este modelo apresenta uma elevada flexibilidade e será facilmente adaptável a uma diversidade de objetivos socio-ecológicos.

A aplicação deste modelo é demonstrada nos exemplos 3 e 4 (Figura 79 e Figura 80).

Exemplos simplificados de aplicação e visualização de um modelo para uma rua média

Exemplo 3 – Rua média (17,20m) com alinhamento bilateral de árvores de copa média-estreita, do tipo bordo-vermelho de copa estreita (*Acer rubrum* ‘Karpick’), bétula de copa estreita (*Betula pendula* ‘Fastigiata’) ou pereira-de-flor (*Pyrus calleryana* ‘Chanticleer’)

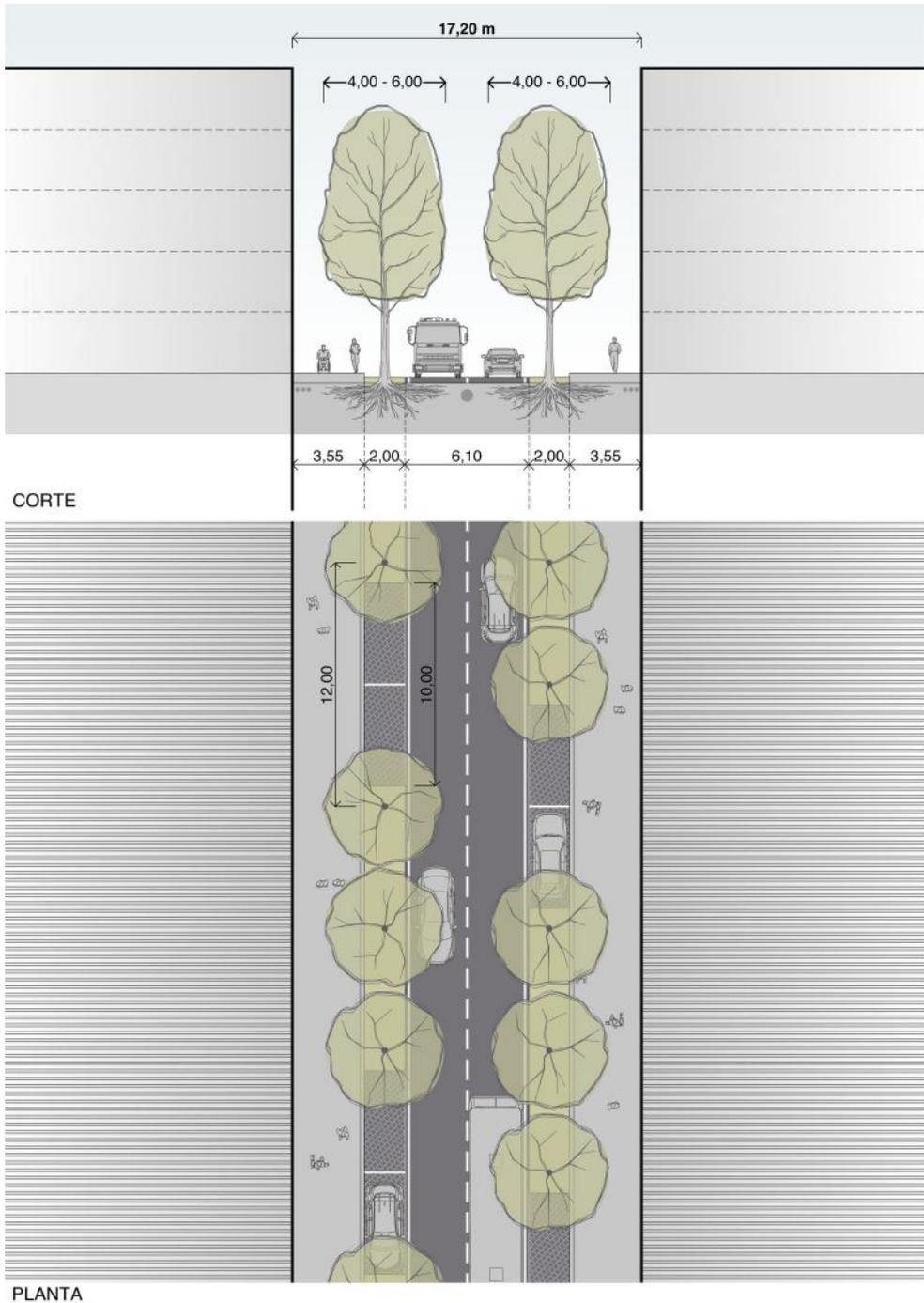


Figura 79 – Exemplo de aplicação do modelo 4 numa rua com 17,20m, com duas vias de trânsito e arborização em caldeira

Exemplo 4 – Rua média (17,20m) com alinhamento bilateral de árvores de copa média-estreita, do tipo carvalho-alvarinho de copa estreita (*Quercus robur* 'Fastigiata'), liquidâmbar de copa estreita (*Liquidambar styraciflua* 'Fastigiata') ou castanheiro-da-Índia de copa estreita (*Aesculus hippocastanum* 'Fastigiata')

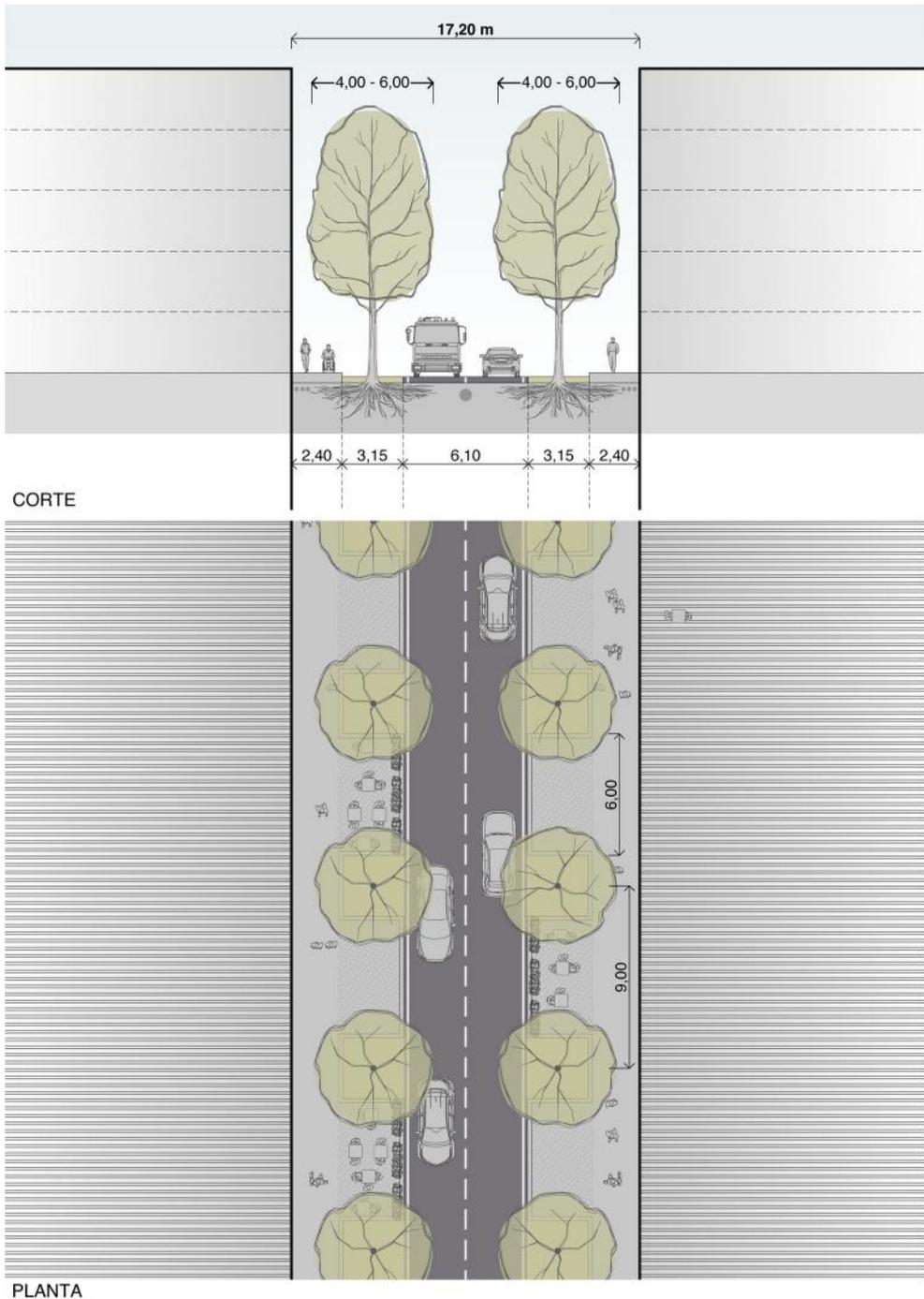


Figura 80 – Exemplo de aplicação do modelo 4 numa rua com 17,20m, com duas vias de trânsito e arborização em faixa contínua alternada com estacionamento

Visualização realista da aplicação do modelo 4 para rua média, baseado no exemplo 4



Vista de topo



Vista ao eixo da rua



Vista do passeio

Figura 81 – Rua média (17,20m) com alinhamento bilateral de árvore de copa média-estreita, do tipo carvalho-alvarinho de copa estreita (*Quercus robur* 'Fastigiata'), liquidâmbar de copa estreita (*Liquidambar styraciflua* 'Fastigiata') ou castanheiro-da-Índia de copa estreita (*Aesculus hippocastanum* 'Fastigiata')

6.2.4. Modelos para ruas largas

Modelo 5 – Rua larga com alinhamento central de árvores de copa larga

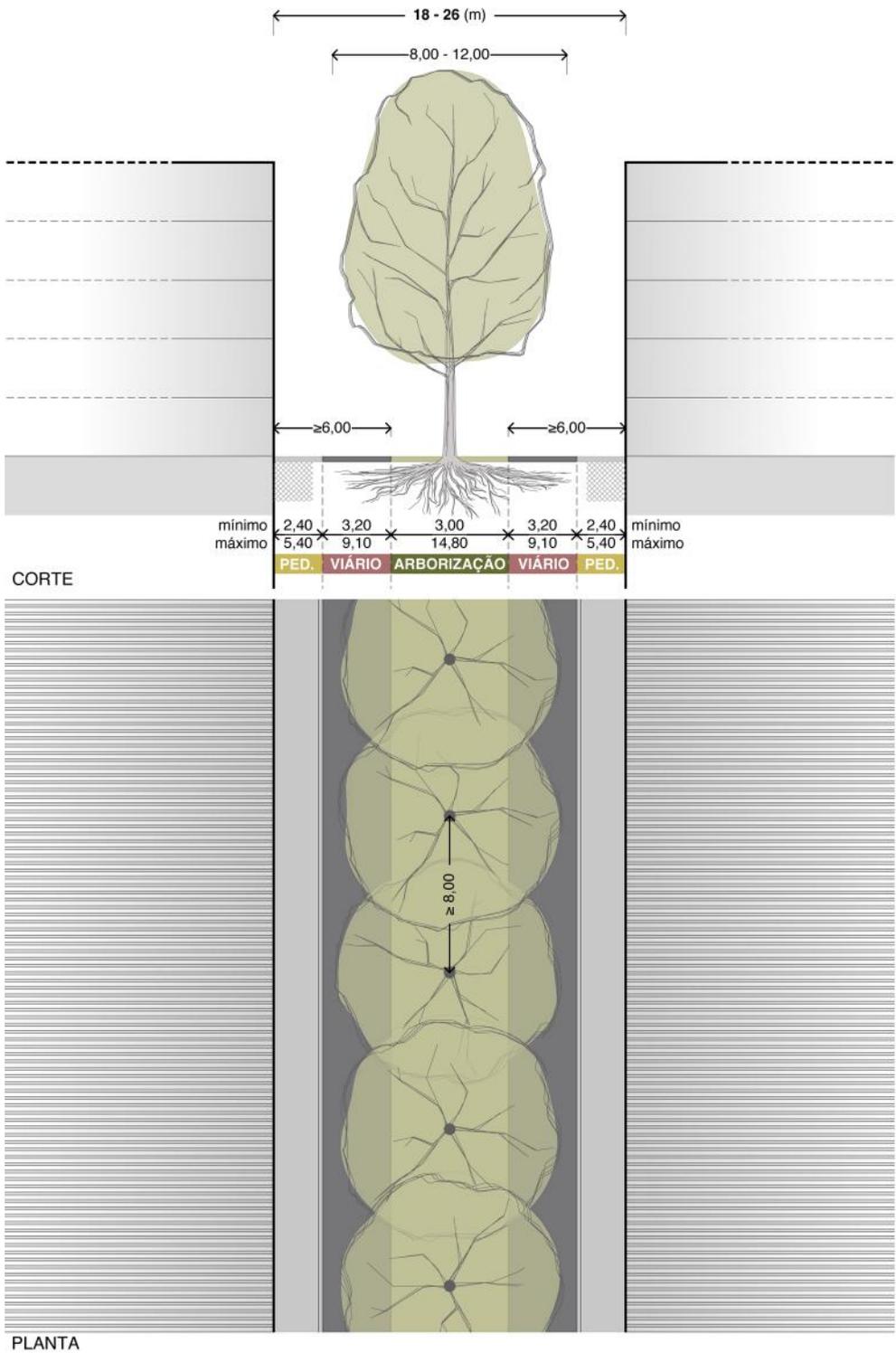


Figura 82 – Representação do modelo 5, em corte e em planta

Especificações	
Largura da rua	Igual ou superior a 18m e inferior a 26m
Tipo de alinhamento	Central
Classe de largura de copa	Larga (igual ou superior a 8m e inferior a 12m) ver Tabela 5, subcapítulo 4.2.4.
Compasso de plantação recomendado	Mínimo 6m
Localização do espaço da arborização	Ao centro da rua
Largura do espaço da arborização	Entre 3 e 14,80m

Tabela 13 – Especificações do modelo 5

Modelo de arborização desenvolvido para ruas largas, de largura igual ou superior a 18m e inferior a 26m, utilizando um alinhamento central composto por árvores de copa larga. O espaço da arborização, posicionado ao centro da rua, traduz-se numa faixa permeável contínua com uma largura entre 3m e 14,80m. O intervalo de largura definido para o espaço de arborização permite um aumento significativo da área permeável da rua, gerando também oportunidades para recreio e estadia nesta faixa central da arborização.

Os espaços de mobilidade pedonal localizam-se junto dos limites laterais da rua, com uma largura compreendida entre 2,40m e 5,40m; no caso das maiores dimensões, este espaço pode compreender zonas de estadia ou ciclovias segregadas. A mobilidade viária é dividida por dois espaços, um de cada lado da faixa central, com largura compreendida entre 3,20m e 9,10m; dependendo da sua largura, cada espaço viário pode incluir uma, duas ou três vias de circulação, ciclovias segregadas ou estacionamento.

Este modelo sugere um desempenho ecológico e bioclimático bastante significativo, pois a utilização de uma árvore de copa larga potencia os serviços de ecossistema no caso das ruas largas. É também bastante flexível em relação às dimensões do espaço de arborização central e dos espaços viários: a possibilidade de criação de uma elevada área permeável oferece uma oportunidade acrescida para atividades de recreio ativo e passivo, e simultaneamente para a regulação do ciclo hidrológico e conforto térmico; por outro lado, espaços viários de largura elevada tornam este modelo facilmente aplicável em zonas com elevadas exigências de fluxos rodoviários, embora gere nestes casos uma permeabilidade mais reduzida.

Modelo 6 – Rua larga com alinhamento bilateral de árvores de copa média-larga

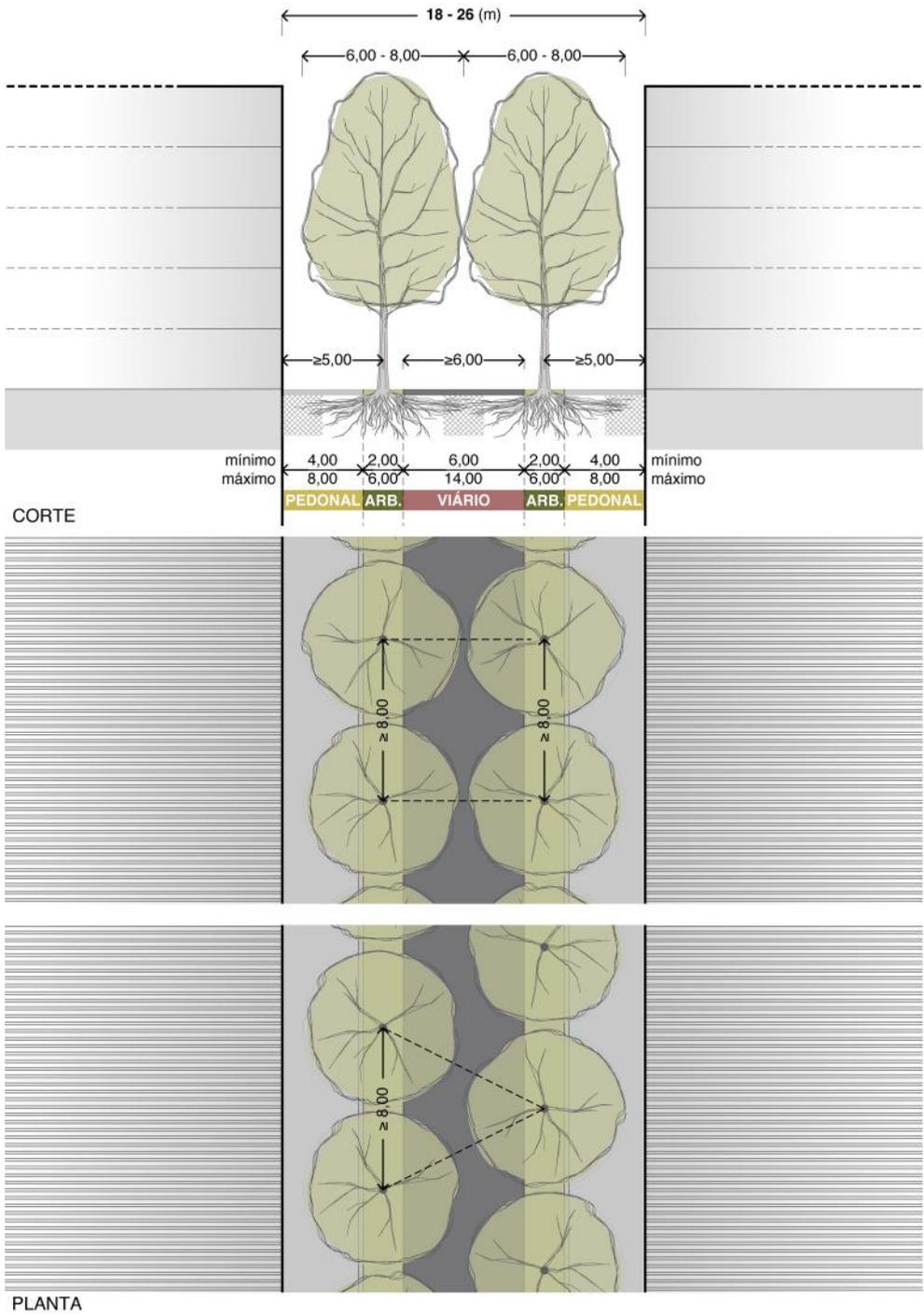


Figura 83 – Representação do modelo 6, em corte e em planta

Especificações	
Largura da rua	Igual ou superior a 18m e inferior a 26m
Tipo de alinhamento	Bilateral
Classe de largura de copa	Média-larga (igual ou superior a 6m e inferior a 8m) ver Tabela 4, subcapítulo 4.2.3.
Distância entre eixo de implantação da árvore e o limite lateral da rua	Mínimo 5m
Compasso de plantação recomendado	Mínimo 8m
Localização do espaço da arborização	Entre os espaços pedonais e os espaços viários
Largura do espaço da arborização	Entre 2 e 6m

Tabela 14 – Especificações do modelo 6

Modelo de arborização para ruas largas, de largura igual ou superior a 18m e inferior a 26m, utilizando alinhamentos laterais de árvores de copa média-larga). O espaço da arborização surge entre os espaços de mobilidade pedonal e o espaço de mobilidade viária e pode traduzir-se, ao nível do solo, numa faixa permeável contínua ou em caldeiras individualizadas, com uma largura entre 2m e 6m.

Os espaços de mobilidade pedonal encontram-se junto dos limites laterais da rua, com uma largura compreendida entre 4m e 8m, podendo incluir zonas de estadia ou ciclovia segregada. O espaço de mobilidade viária localiza-se ao centro da rua, com uma largura compreendida entre 6m e 14m; dependendo da sua largura, o espaço viário pode albergar de uma a quatro vias de circulação, ciclovia segregada ou estacionamento.

Este modelo sugere uma relevante flexibilidade de usos conciliáveis, possibilitando múltiplas situações de mobilidade viária, mobilidade pedonal e arborização. Nesta situação, todas as funções têm oportunidades equilibradas para a sua consumação; isto resulta sobretudo da disponibilidade de espaço público. Em relação ao espaço de arborização, este tipo de alinhamento oferece a possibilidade de conciliar o espaço da arborização com outros usos (por exemplo, estadia ou estacionamento), embora isso resulte na diminuição da permeabilidade e possível diminuição do coberto arbóreo.

Modelo 7 – Rua larga com alinhamento central duplo de árvores de copa média-larga

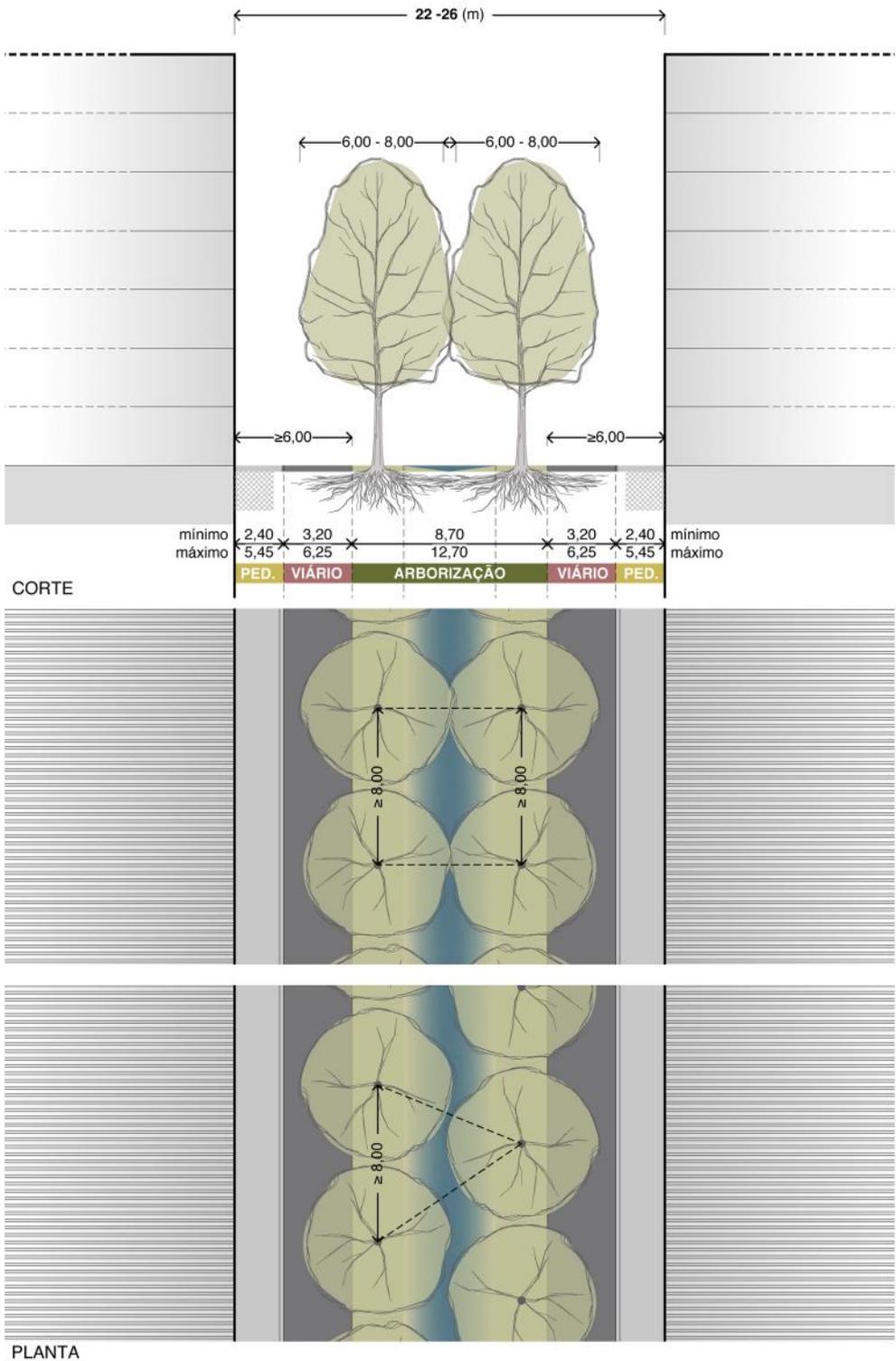


Figura 84 – Representação do modelo 7, em corte e em planta

Especificações	
Largura da rua	Igual ou superior a 22m e inferior a 26m
Tipo de alinhamento	Central duplo
Classe de largura de copa	Média-larga (igual ou superior a 6m e inferior a 8m) ver Tabela 5, subcapítulo 4.2.4.
Compasso de plantação recomendado	Mínimo 6m
Localização do espaço da arborização	Ao centro da rua
Largura do espaço da arborização	Entre 8,70 e 14m

Tabela 15 – Especificações do modelo 6

Modelo de arborização criado para ruas largas, de largura igual ou superior a 22m e inferior a 26m, utilizando um alinhamento central composto por duas fileiras de árvores de copa média-larga. Nesta situação, o espaço de arborização consiste numa faixa permeável contínua ao centro da rua, com largura entre 8,70m e 14m. O posicionamento das árvores num alinhamento duplo central permite, por um lado, diminuir a probabilidade de conflitos das copas com as fachadas e, por outro, criar uma zona especialmente orientada para a drenagem de águas pluviais entre os dois alinhamentos.

Os espaços de mobilidade pedonal encontram-se junto dos limites laterais da rua, com largura entre 2,40m e 7,45m, podendo incluir zonas de estadia ou ciclovia segregada. Surgem dois espaços de mobilidade viária, um de cada lado da faixa central, com largura entre 3,20m a 6,25m; dependendo da sua largura, o espaço viário pode incluir uma ou duas vias de circulação, ciclovia segregada ou estacionamento.

Embora a árvore utilizada seja apenas de média dimensão, este é o único modelo recomendado para ruas largas que permite incorporar na faixa central, entre os alinhamentos de árvores, um sistema urbano de drenagem sustentável (SUD); isto torna-o especialmente vocacionado para áreas sujeitas a elevadas taxas de escoamento superficial e com inundações frequentes. Mesmo sem SUD, a faixa central cria uma área permeável elevada, que potencialmente pode ultrapassar os 50% da área total da rua; neste âmbito, surgem também oportunidades acrescidas para circulação e estadia pedonal, assim como para ciclovia segregada, podendo configurar um jardim linear.

A aplicação deste modelo é demonstrada nos exemplos 5 e 6 (Figura 86 e Figura 87).

Modelo 8 – Rua larga com alinhamento múltiplo: alinhamento central de árvores de copa média-larga e alinhamentos laterais de árvores de copa estreita

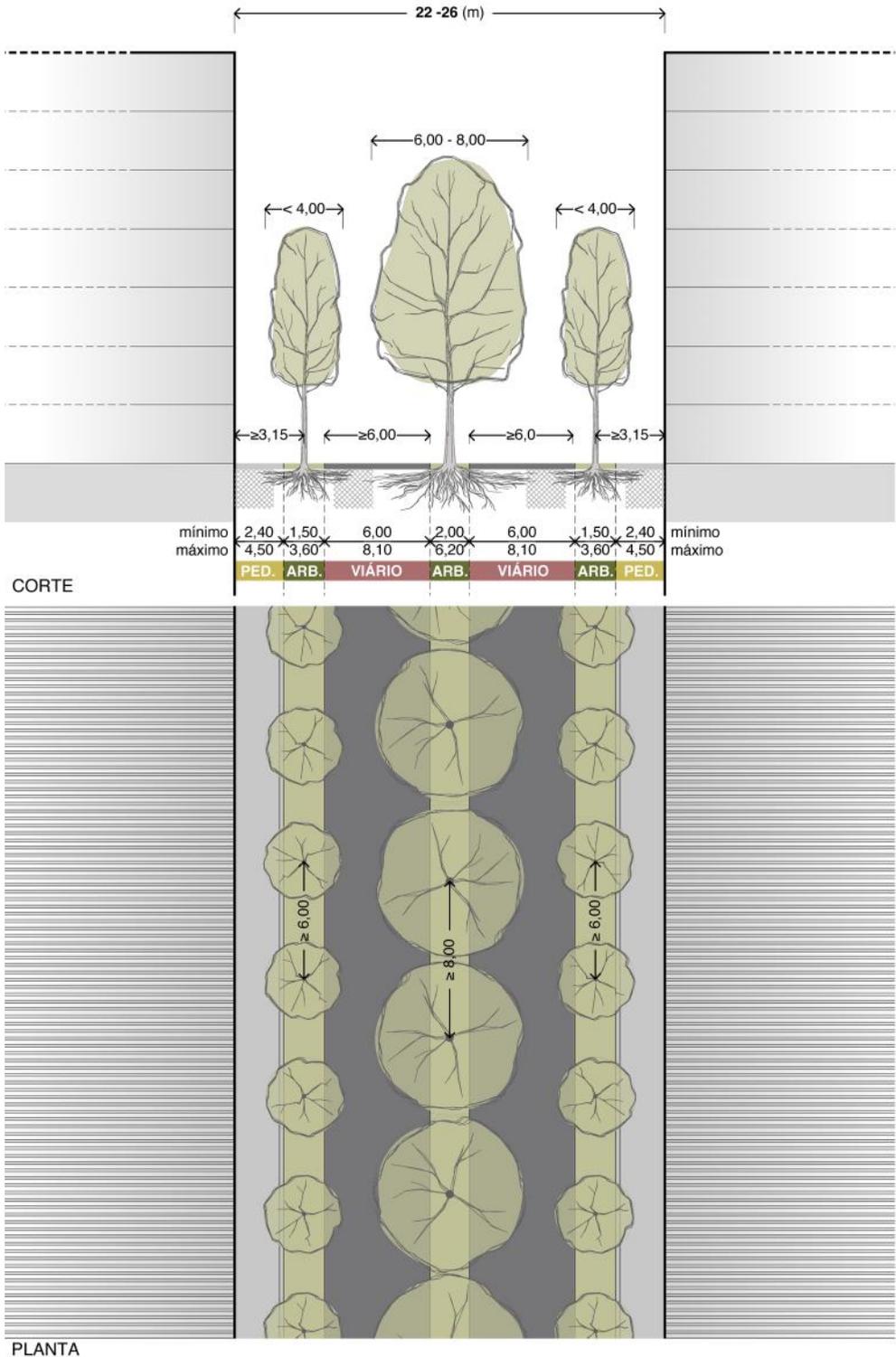


Figura 85 – Representação do modelo 8, em corte e em planta

Especificações	
Largura da rua	Igual ou superior a 22m e inferior a 26m
Tipo de alinhamento	Múltiplo (1 alinhamento central + 2 alinhamentos laterais)
Classe de largura de copa	Média-larga (igual ou superior a 6m e inferior a 8m) ver Tabela 4, subcapítulo 4.2.3.
	Estreita (inferior a 4m) ver Tabela 2, subcapítulo 4,2,3
Distância entre eixo de implantação da árvore e o limite lateral da rua	Mínimo 3m para as árvores dos alinhamentos laterais (copa estreota)
Compasso de plantação recomendado	Mínimo 8m para as árvores de copa média-larga
	Mínimo 6m para as árvores de copa estreita
Largura do espaço da arborização	Ao centro da rua: entre 2m e 6,20m
	Nas laterais da rua: entre 1,50m e 3,60m

Tabela 16 – Especificações do modelo 8

Modelo de arborização aplicável a ruas largas, de largura igual ou superior a 22m e inferior a 26m, utilizando uma composição múltipla de alinhamentos: um alinhamento de árvores de copa média-larga ao centro da rua e alinhamentos de árvores de copa estreita nas laterais.

O espaço de arborização central traduz-se sempre numa faixa permeável contínua, mas os espaços laterais poderão ser constituídos por faixas contínuas ou caldeiras individualizadas, alternadas com outros usos (como estacionamento ou estadia). Os espaços de mobilidade pedonal encontram-se junto dos limites laterais da rua, com largura compreendida entre 2,40 e 4,50m. Existem dois espaços de mobilidade viária, um de cada lado da faixa central, com uma largura compreendida entre 6,00m e 8,10m; dependendo da sua largura, o espaço viário pode incluir uma ou duas vias de circulação, ciclovias segregadas ou estacionamento.

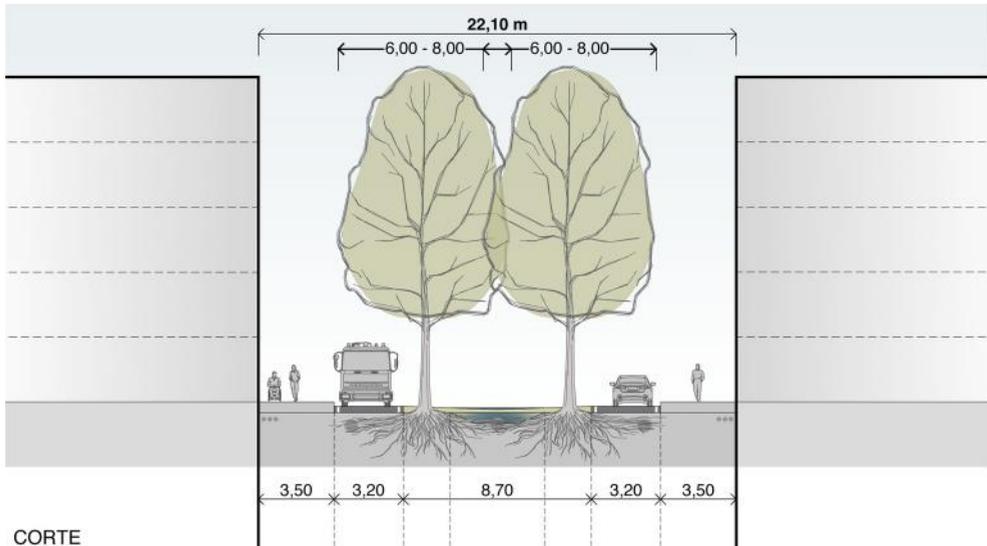
Este modelo apresenta uma solução mais complexa do que os modelos anteriores, podendo proporcionar maior diversidade ecológica e estética, decorrente da composição com árvores diferentes e, por isso, com maior variedade de características. Introduz também uma separação explícita entre os diferentes espaços de mobilidade, oferecida pelos três alinhamentos de árvores. De facto, este modelo sugere ser mais adequado para ruas com elevadas exigências de circulação, especialmente viária, sendo o menos interessante do ponto de vista da permeabilidade ao nível do solo, no contexto das ruas largas.

Página página:

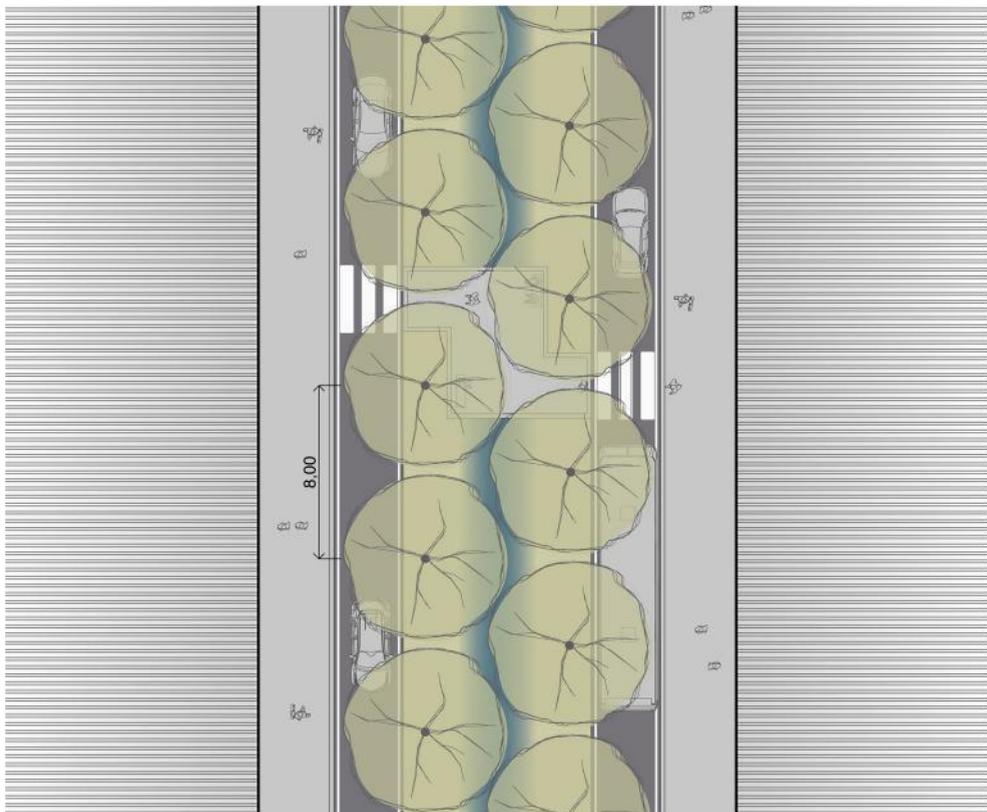
Figura 86 – Exemplo de aplicação do modelo 7 numa rua com 22,10m, com duas vias de trânsito, uma ciclovias e três espaços pedonais (nas laterais e ao centro da rua)

Exemplos simplificados de aplicação e visualização de um modelo para uma rua larga

Exemplo 5 – Rua larga (22,10m) com alinhamento central duplo de árvores de copa média-larga, do tipo ulmeiro (*Ulmus hollandica* ‘Lobel’) ou bordo (*Acer campestre*, *Acer pseudoplatanus* ‘Erectum’)



CORTE



PLANTA

Exemplo 6 – Rua larga (22,10m) com alinhamento central duplo de árvores de copa média-larga, do tipo cerejeira-brava (*Prunus avium*), amieiro (*Alnus glutinosa*) ou bétula (*Betula pubescens ssp. celtiberica*)

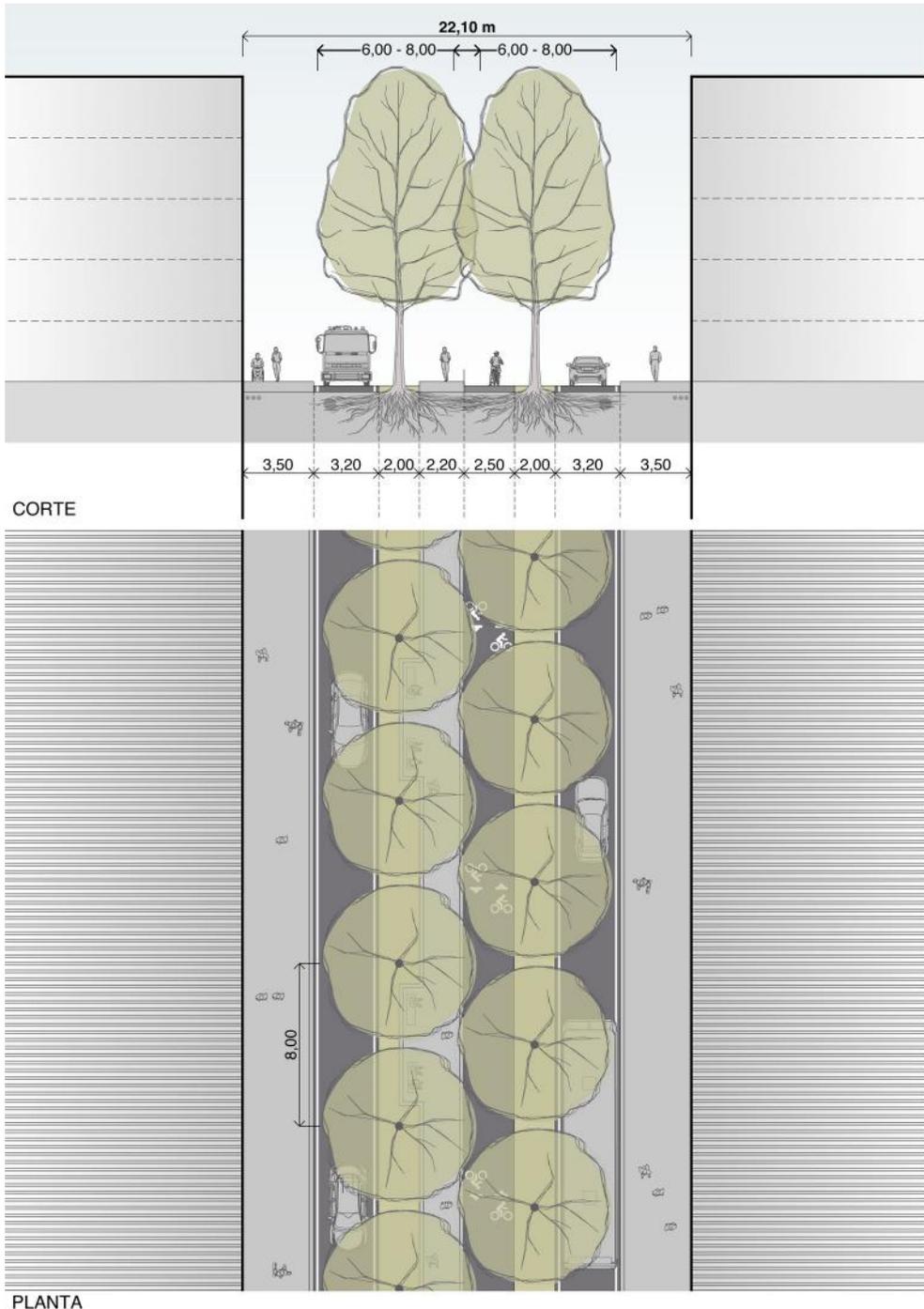


Figura 87 – Exemplo de aplicação do modelo 7 numa rua com 22,10m com duas vias de trânsito e uma faixa permeável contínua com um sistema de drenagem sustentável, ao centro da rua

Visualização realista da aplicação do modelo 7 para rua larga, baseado no exemplo 6



Vista de topo



Vista ao eixo da rua

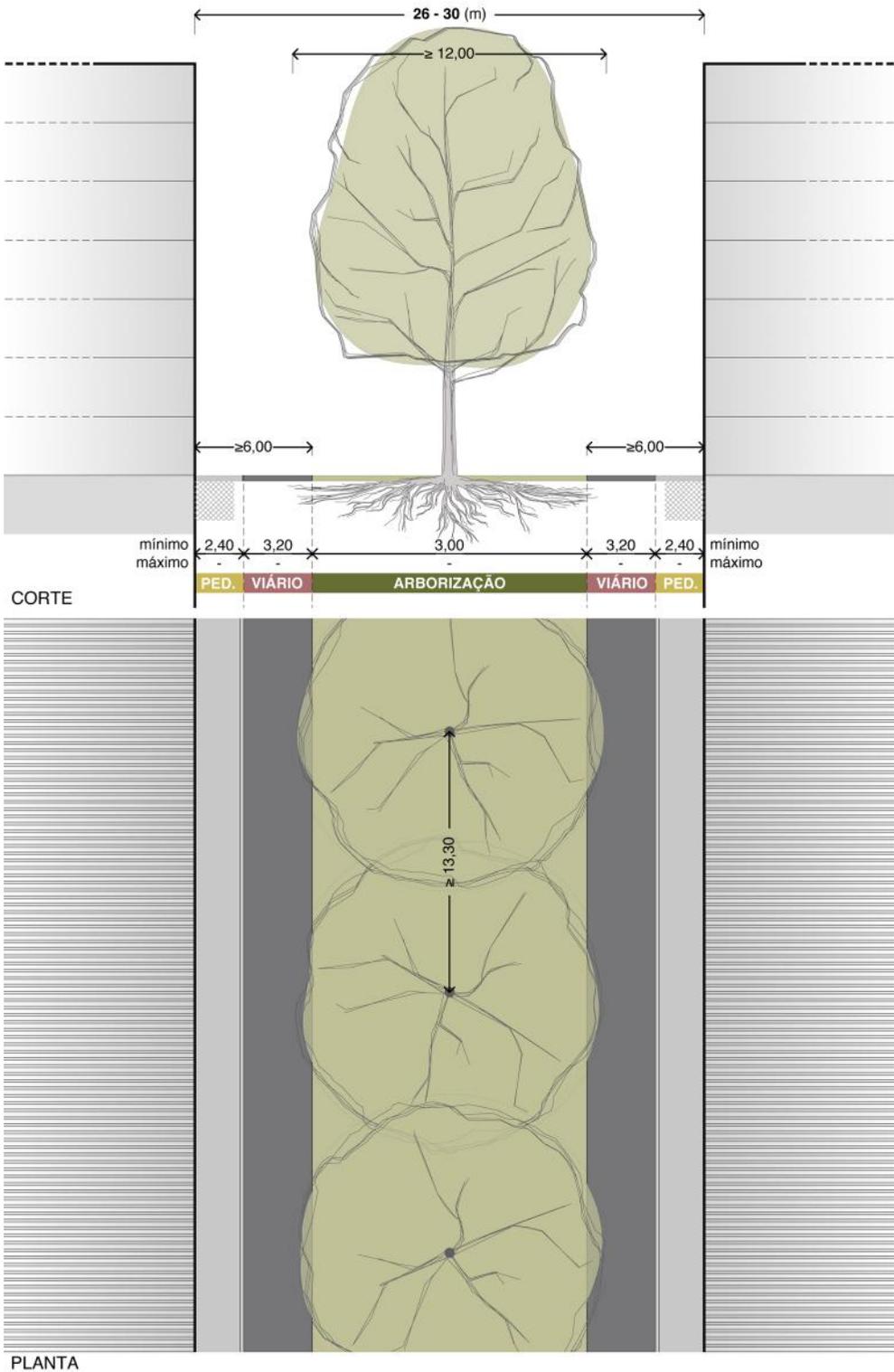


Vista do passeio

Figura 88 – Rua larga (22,10m) com alinhamento central duplo de árvores de copa média-larga, do tipo cerejeira-brava (*Prunus avium*), amieiro (*Alnus glutinosa*) ou bétula (*Betula pubescens* ssp. *celtibérica*)

6.2.5. Modelos para ruas muito largas

Modelo 9 – Rua muito larga com alinhamento central de árvores de copa muito larga



Especificações	
Largura da rua	Igual ou superior a 26m e inferior a 36m
Tipo de alinhamento	Central
Classe de largura de copa	Muito larga (igual ou superior a 12m) <i>ver Tabela 6, subcapítulo 4.2.5.</i>
Compasso de plantação recomendado	Mínimo 13,30m
Localização do espaço da arborização	Ao centro da rua
Largura do espaço da arborização	Entre 3m e 24m

Tabela 17 – Especificações do modelo 9

Modelo de arborização desenvolvido para ruas muito largas, com largura igual ou superior a 26m e inferior a 36m (elevada oportunidade de espaço público), utilizando um alinhamento central de árvores de copa muito larga. Este modelo é o que permite otimizar a utilização da árvore muito larga para o contexto das ruas do Porto, pois a sua localização central possibilita que esta possa logo ocorrer em ruas com 26m de largura (recomendado para a classe de 26m a 36m).

Os espaços de mobilidade pedonal encontram-se junto dos limites laterais da rua, com uma largura compreendida entre 2,40m e 13,30m, que podem incluir zonas de estadia e ciclovias segregadas. Existem dois espaços de mobilidade viária, um de cada lado da faixa central, com uma largura entre 3,20m e 14,10m; dependendo da sua largura, cada espaço viário pode incluir uma, duas ou três vias de circulação, ciclovias segregadas ou estacionamento.

Neste modelo, o espaço de arborização consiste numa faixa permeável contínua, sobreposta ao eixo da rua, cuja dimensão pode variar entre 3m e 24m. O alargamento da faixa central oferece amplos benefícios e oportunidades, tais como o aumento da permeabilidade, conforto bioclimático e biodiversidade. Dependendo da composição espacial e do desenho, surgem também oportunidades inovadoras de estadia, recreio, circulação pedonal e de modos suaves, podendo mesmo configurar um jardim linear. Por outro lado, a diminuição desta faixa permeável cria oportunidades acrescidas para os fluxos viários de diversas naturezas, tornando este modelo bastante adequado para zonas com elevadas exigências de circulação.

A aplicação deste modelo é demonstrada no exemplo 7 (Figura 99).

Modelo 10 – Rua muito larga com alinhamento bilateral de árvores de copa larga

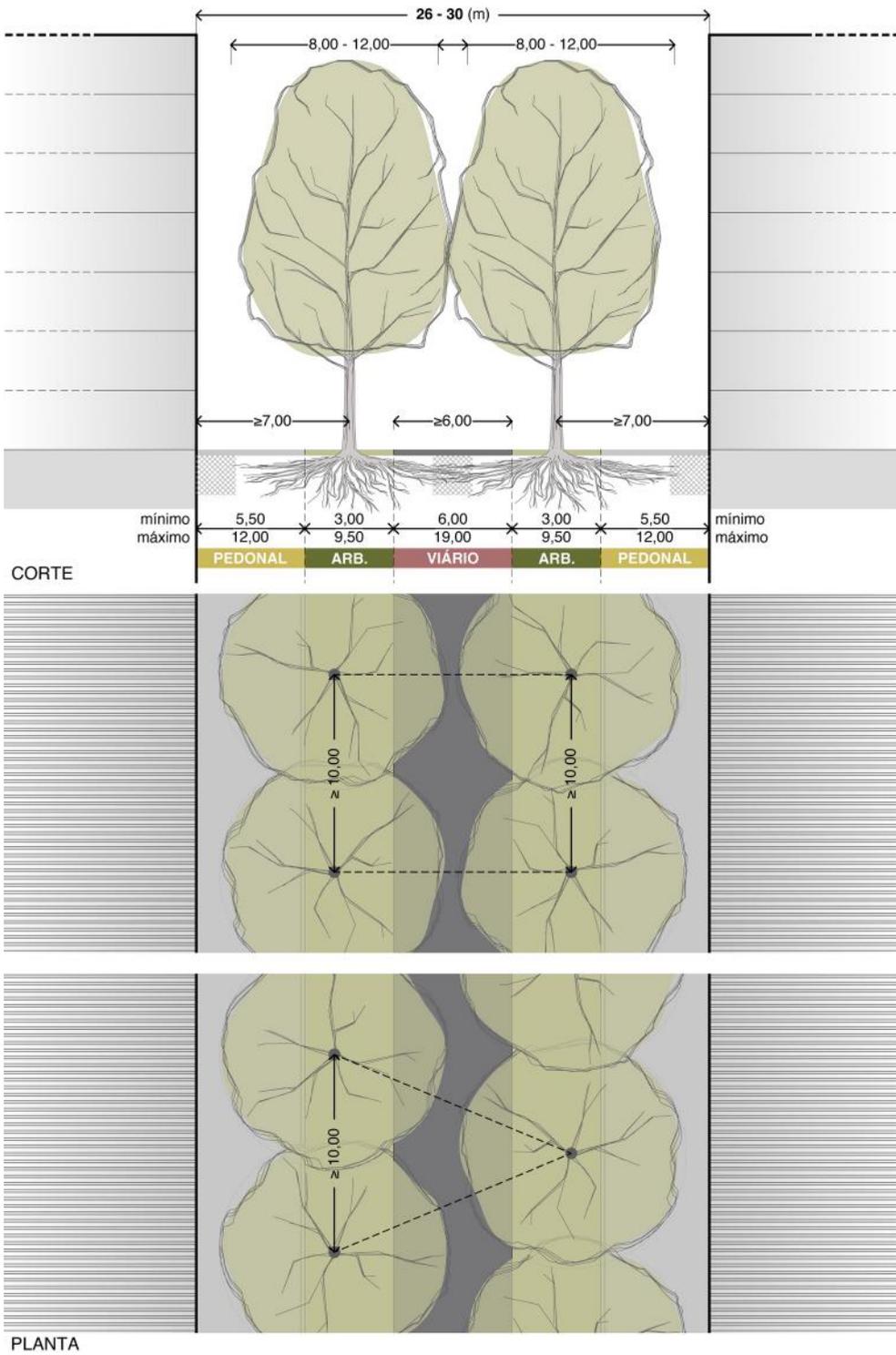


Figura 90 – Representação do modelo 10, em corte e em planta

Especificações	
Largura da rua	Igual ou superior a 26m e inferior a 36m
Tipo de alinhamento	Bilateral
Classe de largura de copa	Larga (igual ou superior a 8m e inferior a 12m) <i>ver Tabela 5, subcapítulo 4.2.4.</i>
Distância entre eixo de implantação da árvore e o limite lateral da rua	Mínimo 7m
Compasso de plantação recomendado	Mínimo 10m
Localização do espaço da arborização	Entre os espaços pedonais e os espaços viários
Largura do espaço da arborização	Entre 2m e 9,50m

Tabela 18 – Especificações do modelo 10

Modelo de arborização aplicável a ruas muito largas recorrendo a alinhamentos laterais de árvores de copa larga. O espaço da arborização situa-se entre os espaços de mobilidade pedonal e o espaço de mobilidade viária e pode traduzir-se, ao nível do solo, numa faixa permeável contínua ou em caldeiras individualizadas, com uma largura entre 3m e 9,50m. No âmbito da promoção da permeabilidade e da biodiversidade, deverá considerar-se a solução de faixa permeável contínua, pois esta providencia maior superfície de infiltração e melhores condições de habitat e de solo para a flora e para a fauna na rua. A opção de plantar as árvores em caldeira poderá trazer oportunidade para ocorrência de outros usos entre as árvores; no entanto, isto resulta na diminuição da permeabilidade geral e eventual diminuição do coberto arbóreo, devido ao aumento do compasso de plantação. Os espaços de mobilidade pedonal encontram-se junto dos limites laterais da rua, com uma largura compreendida entre 5,50m e 12m, podendo incorporar zonas de estadia, jardim ou ciclovia segregada. O espaço de mobilidade viária localiza-se ao centro da rua, com uma largura compreendida entre 6m e 19m; dependendo da sua largura, o espaço viário pode incluir até seis vias de circulação, ciclovias segregadas ou estacionamento.

Sendo uma composição arbórea bastante comum, este modelo alia um elevado potencial para a presença dominante da árvore com a mobilidade. No mesmo sentido, o espaço da arborização permite também a conciliação com usos complementares à circulação, como zonas de estadia e de estacionamento, podendo nas situações de maior largura acolher espaços ajardinados de maiores dimensões.

A aplicação deste modelo é demonstrada no exemplo 8 (Figura 100).

Modelo 11 – Rua muito larga com alinhamento central duplo de árvores de copa larga

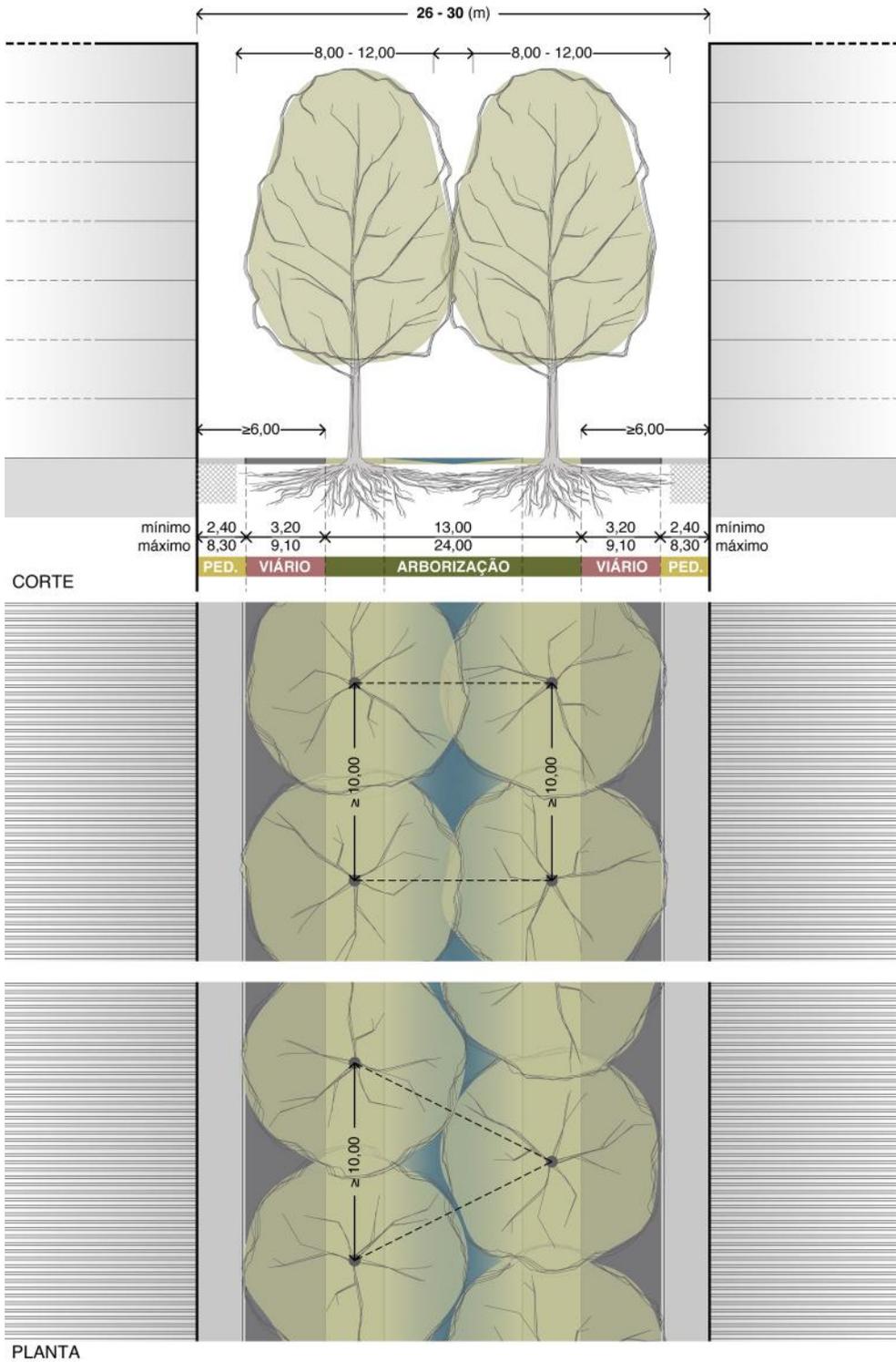


Figura 91 – Representação do modelo 11, em corte e em planta

Especificações	
Largura da rua	Igual ou superior a 26m e inferior a 36m
Tipo de alinhamento	Central duplo
Classe de largura de copa	Larga (igual ou superior a 8m e inferior a 12m) <i>ver Tabela 5, subcapítulo 4.2.4.</i>
Distância entre eixo de implantação da árvore e o limite lateral da rua	Mínimo 10m
Localização do espaço da arborização	Ao centro da rua
Largura do espaço da arborização	Entre 13m e 24m

Tabela 19 – Especificações do modelo 11

Modelo de arborização criado para ruas muito largas utilizando um alinhamento central com duas fileiras de árvores de copa larga. Nesta situação, o espaço da arborização corresponde a uma faixa permeável localizada sobre o centro da rua, com uma largura entre 13m e 24m. O posicionamento das árvores num alinhamento central duplo permite diminuir a probabilidade de conflitos das copas com as fachadas e pode ainda possibilitar uma zona especialmente orientada para a drenagem de águas pluviais entre os dois alinhamentos.

Os espaços de mobilidade pedonal encontram-se junto dos limites laterais da rua, com largura entre 2,40m e 8,30m, podendo incluir zonas de estadia e/ou ciclovia segregada. Surgem dois espaços de mobilidade viária, um de cada lado da faixa central, com largura entre 3,20 e 9,10m; dependendo da sua largura, cada espaço viário pode acolher até três vias de circulação, ciclovia segregada e/ou estacionamento.

A oportunidade de inclusão de um sistema urbano de drenagem sustentável (SUD) entre os alinhamentos de árvores na faixa central, torna este modelo especialmente interessante para zonas com problemas de escoamento superficial e inundação. A dimensão da faixa de arborização central faz com que esta solução apresente, no mínimo, um terço da rua ocupado por superfícies permeáveis, que poderão também ser aproveitadas para circulação pedonal ou de modos suaves, zonas de estadia e recreio, podendo tomar a forma de um jardim linear.

Modelo 12 – Rua muito larga com alinhamento múltiplo: alinhamento central de árvores de copa larga e alinhamentos laterais de árvores de copa média-estreita

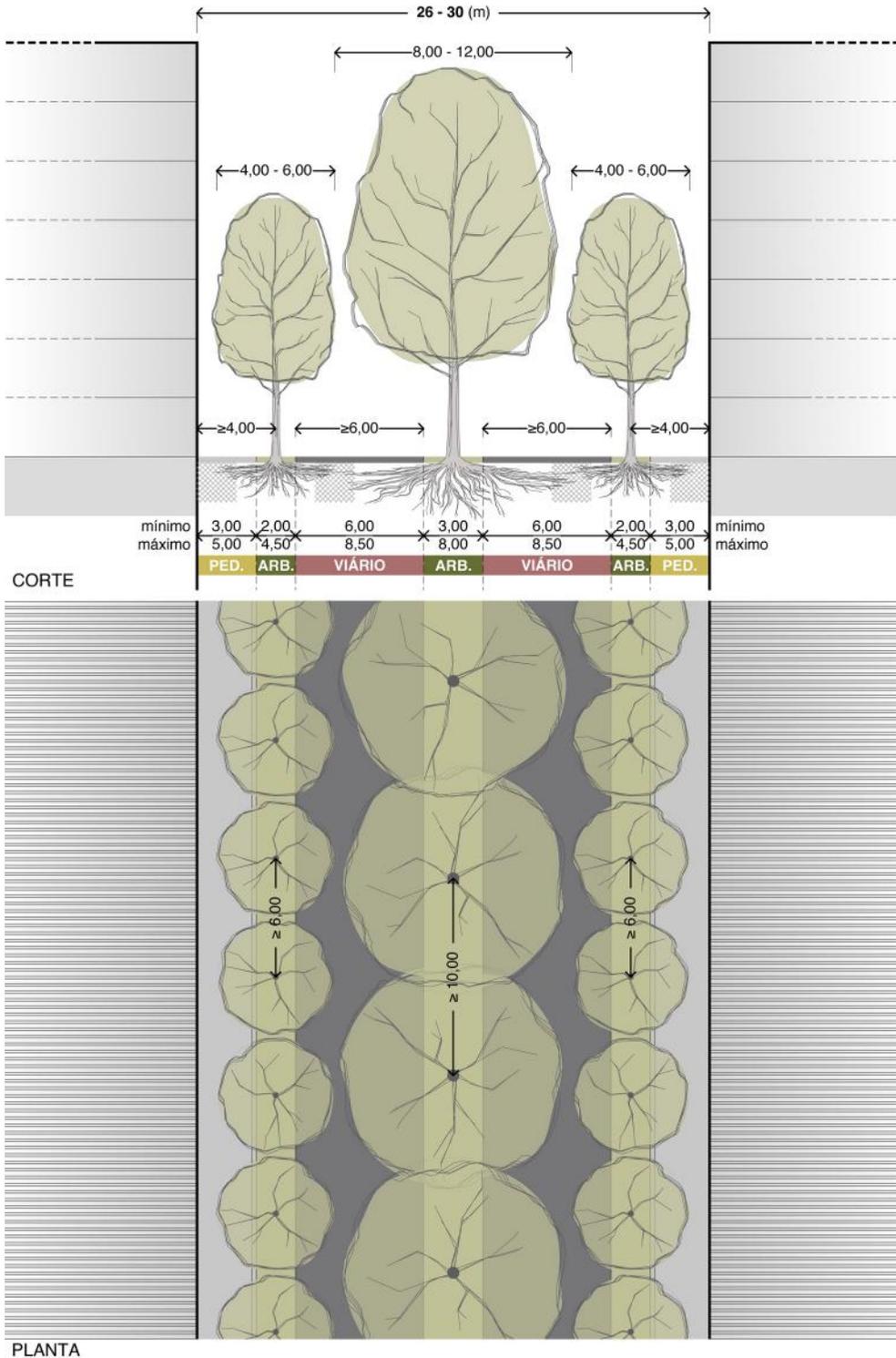


Figura 92 – Representação do modelo 12, em corte e em planta

Especificações	
Largura da rua	Igual ou superior a 26m e inferior a 30m
Tipo de alinhamento	Múltiplo (1 alinhamento central + 2 alinhamento laterais)
Classe de largura de copa	Larga (igual ou superior a 8m e inferior a 12m) ver Tabela 5, subcapítulo 4.2.4. Média-estreita (igual ou superior a 4m e inferior a 6m) ver Tabela 2, subcapítulo 4.2.2.
Distância entre eixo de implantação da árvore e o limite lateral da rua	Mínimo 4m para as árvores dos alinhamentos laterais (copa média-estreita)
Compasso de plantação recomendado	Mínimo 10m para as árvores de copa larga Mínimo 6m para árvores de copa média-estreita
Largura do espaço da arborização	Ao centro da rua: entre 3m e 8m Nas laterais da rua: entre 2m e 4,50m

Tabela 20 – Especificações do modelo 12

Modelo de arborização adequado a ruas muito largas recorrendo a uma composição múltipla: alinhamento central de árvores de copa larga e alinhamentos laterais de árvores de copa média-estreita.

Os espaços de mobilidade pedonal encontram-se junto dos limites laterais da rua, com largura compreendida entre 3m e 5m, podendo incluir zonas de estadia ou ciclovias segregadas. Existem dois espaços de mobilidade viária, um de cada lado da faixa central, com uma largura entre 6m e 8,50m; dependendo da sua largura, cada espaço viário pode albergar uma ou duas vias de circulação, ciclovias segregadas e/ou estacionamento.

Tal como sucede com outros modelos com alinhamentos múltiplos, esta composição permite uma diversidade ecológica acrescida devido ao uso de espécies diferentes na mesma rua, que irá também resultar num significativo interesse estético trazido pela variação de dimensões, cores, texturas e outros atributos das árvores. Contudo, apesar do número elevado de indivíduos arbóreos, este modelo tem menor potencial de permeabilidade, uma vez que as faixas permeáveis surgem em maior número, mas com menor largura; a permeabilidade da rua será ainda menor se forem utilizadas caldeiras individualizadas em vez de faixas permeáveis contínuas. Este modelo apresenta boa adequabilidade para zonas com elevadas exigências de circulação pedonal e viária, devido ao espaço que oferece para estes fluxos.

Modelo 13 – Rua muito larga com alinhamento múltiplo: alinhamento central de árvores de copa larga e alinhamentos bilaterais de árvores de copa média-larga

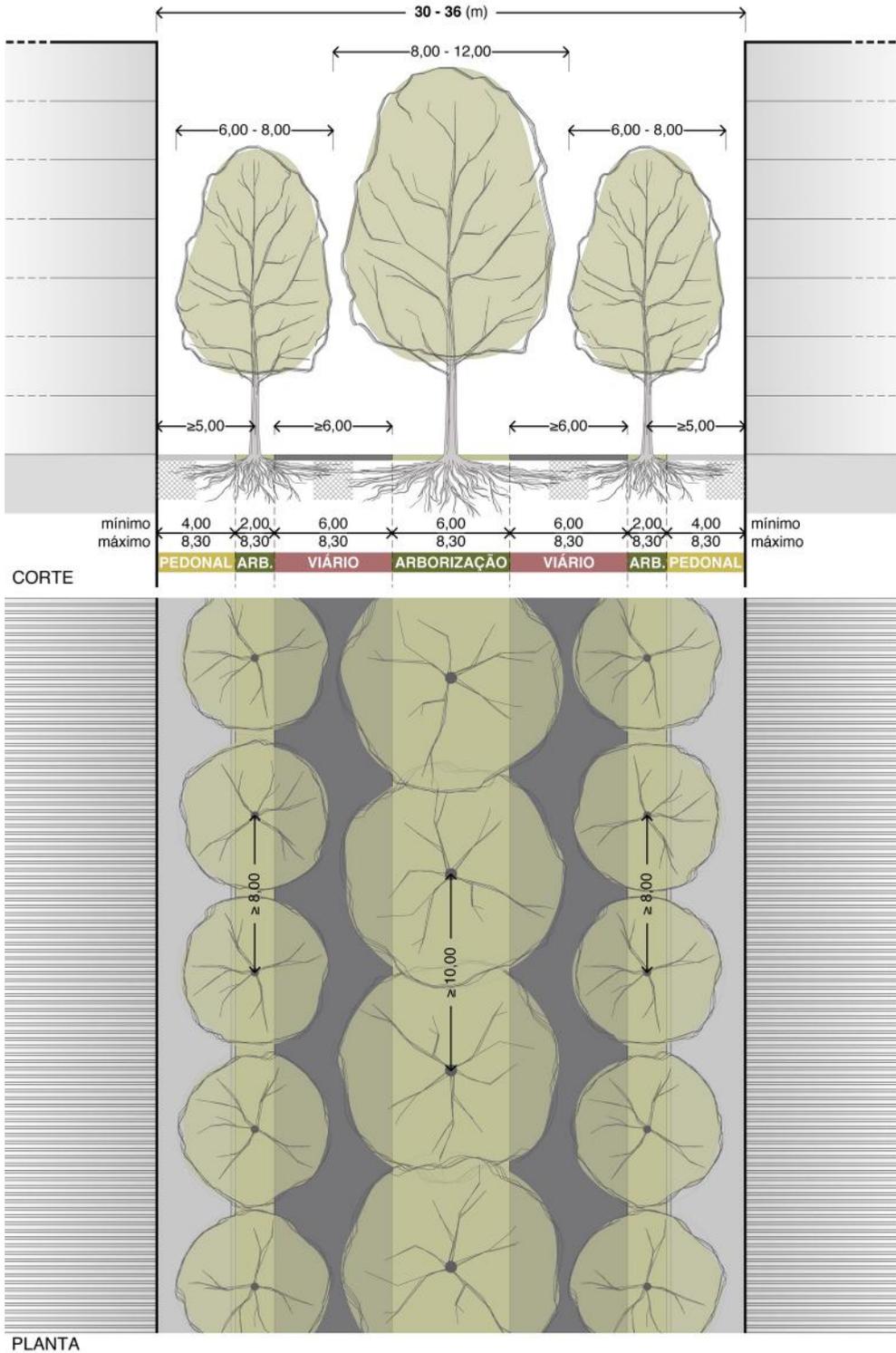


Figura 93 – Representação do modelo 13, em corte e em planta

Especificações	
Largura da rua	Igual ou superior a 30m e inferior a 36m
Tipo de alinhamento	Múltiplo (1 alinhamento central + 2 alinhamento laterais)
Classe de largura de copa	Larga (igual ou superior a 8m e inferior a 12m) ver Tabela 5, subcapítulo 4.2.4. Média-larga (igual ou superior a 8m e inferior a 12m) ver Tabela 4, subcapítulo 4.2.3.
Distância entre eixo de implantação da árvore e o limite lateral da rua	Mínimo 5m para as árvores dos alinhamentos laterais (copa média-larga)
Compasso de plantação recomendado	Mínimo 10m para as árvores de copa larga Mínimo 8m para árvores de copa média-estreita
Largura do espaço da arborização	Ao centro da rua: entre 3m e 12m Nas laterais da rua: entre 2m e 6,50m

Tabela 21 – Especificações do modelo 13

Modelo de arborização para ruas muito largas utilizando uma composição múltipla: um alinhamento central de árvores de copa larga e alinhamentos laterais de árvores de copa média-larga. Deste modo, surgem três espaços para a arborização: dois entre o espaço pedonal e o espaço viário e um ao centro da rua, entre os dois espaços viários.

Os espaços de mobilidade pedonal encontram-se junto dos limites laterais da rua, com largura compreendida entre 4m e 8,50m, podendo incluir zonas de estadia ou ciclovia segregada. Existem dois espaços de mobilidade viária, um de cada lado da faixa central, com uma largura entre 6m e 10,50m; dependendo da sua largura, cada espaço viário pode albergar até três vias de circulação, ciclovia segregada e/ou estacionamento.

Este modelo é em tudo semelhante ao modelo anterior (modelo 12), à exceção da dimensão da árvore utilizada nos alinhamentos laterais. Assim, um dos seus pontos fortes reside na diversidade de espécies que introduz na rua e os benefícios ecológicos e estéticos que daí advém. Mas, devido ao recurso a árvores médias-largas, este modelo apresenta um potencial mais elevado no que diz respeito à provisão de serviços de ecossistema. Tal como o anterior, este modelo apresenta áreas permeáveis relativamente reduzidas, dando primazia aos espaços pavimentados para a mobilidade pedonal e para a mobilidade viária.

A aplicação deste modelo é demonstrada no exemplo 9 (Figura 101).

Modelo 14 – Rua muito larga com alinhamento múltiplo: alinhamento central duplo de árvores de copa média-larga e alinhamentos bilaterais de árvores de copa média-estreita

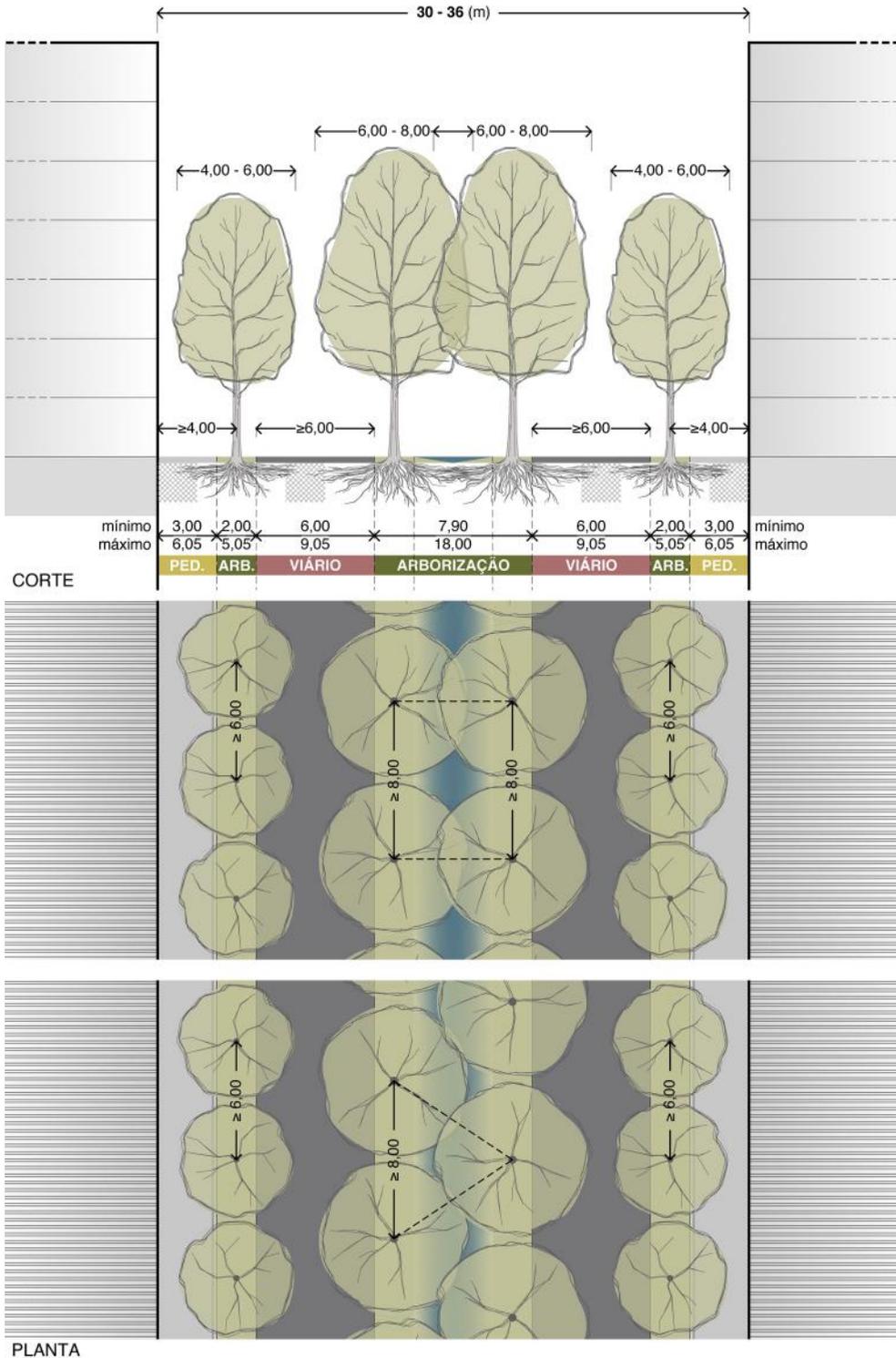


Figura 94 – Representação do modelo 14, em corte e em planta

Especificações	
Largura da rua	Igual ou superior a 30m e inferior a 36m
Tipo de alinhamento	Múltiplo (2 alinhamento centrais + 2 alinhamento laterais)
Classe de largura de copa	Média-larga (igual ou superior a 6m e inferior a 8m) ver Tabela 5, subcapítulo 4.2.4. Média-larga (igual ou superior a 8m e inferior a 12m) ver Tabela 4, subcapítulo 4.2.3.
Distância entre eixo de implantação da árvore e o limite lateral da rua	Mínimo 5m para as árvores dos alinhamentos laterais (copa média-larga)
Compasso de plantação recomendado	Mínimo 10m para as árvores de copa larga Mínimo 8m para árvores de copa média-estreita
Largura do espaço da arborização	Ao centro da rua: entre 3m e 12m Nas laterais da rua: entre 2m e 6,50m

Tabela 22 – Especificações do modelo 14

Modelo de arborização apropriado para ruas muito largas recorrendo a uma composição múltipla: um alinhamento central duplo com árvores de copa média-larga e alinhamentos laterais de árvores de copa média-estreita.

O espaço de arborização central traduz-se numa faixa permeável contínua onde se situam duas fileiras de árvores, podendo criar-se, entre estas fileiras, uma zona para acumulação, escoamento e infiltração de águas pluviais. Os espaços de mobilidade pedonal encontram-se junto dos limites laterais da rua, com largura compreendida entre 3m e 6,05m, podendo incluir zonas de estadia ou ciclovias segregadas. Os espaços de mobilidade viária, um de cada lado da faixa central, têm uma largura entre 6m e 9,05m e podem acolher até três vias de circulação, ciclovias segregadas e/ou estacionamento.

Este modelo oferece simultaneamente vantagens ao nível das funções de circulação e de permeabilidade. A elevada largura destas ruas permite a alocação de múltiplas vias de circulação viária e passeios largos, assim como a existência de faixas permeáveis contínuas de grandes dimensões, especialmente ao centro da rua. Poderá explorar-se a implementação de um sistema urbano de drenagem sustentável (SUD) ou a criação de espaços de estadia e recreio num jardim linear. A oportunidade de utilização e combinação de espécies diferentes promove a diversidade ecológica e estética, ao introduzir na rua um elevado número de árvores com características muito variadas, sendo um elemento muito interessante para o estímulo da biodiversidade urbana.

Modelo 15 – Rua muito larga com alinhamento bilateral de árvores de copa muito larga

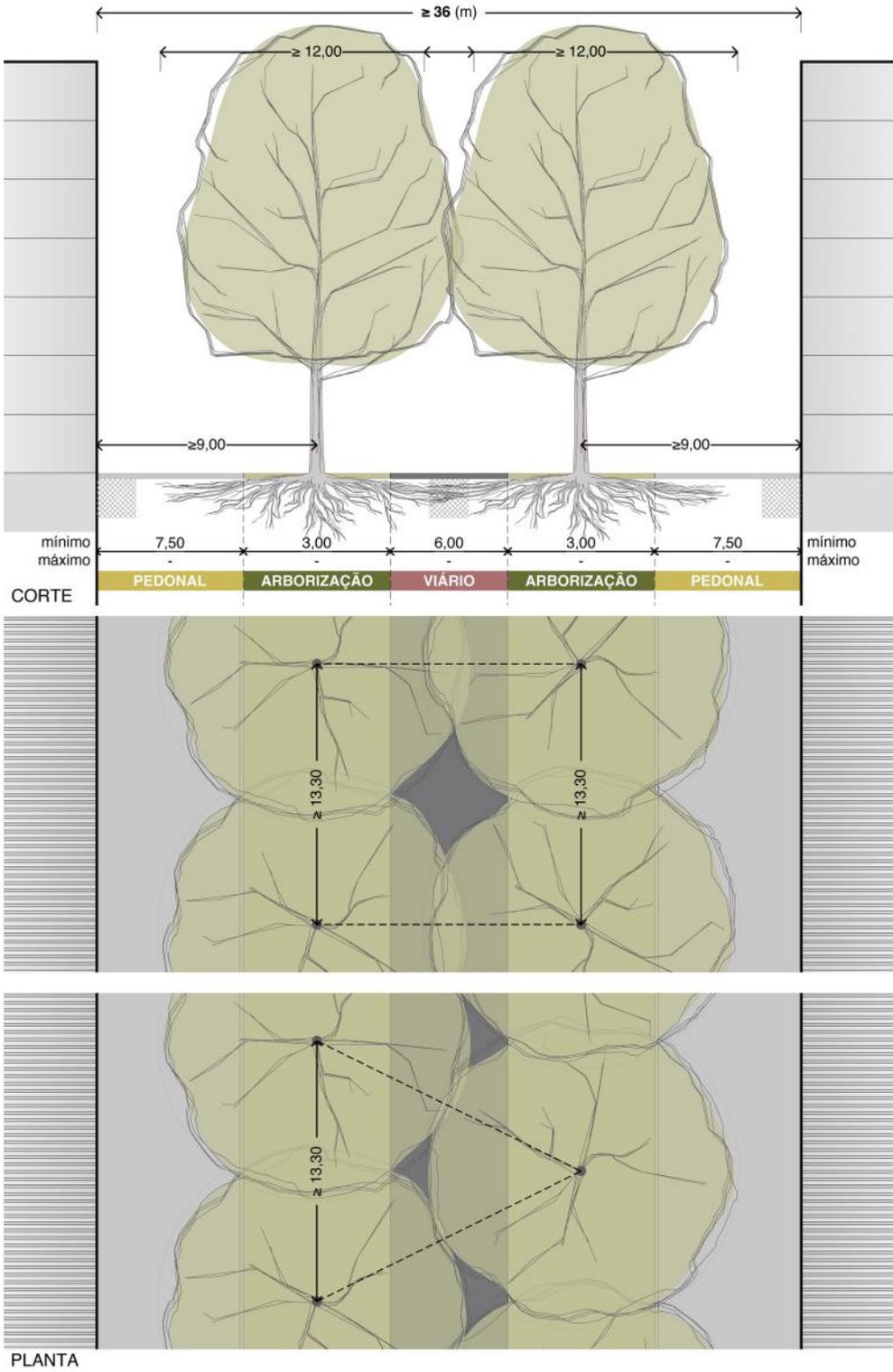


Figura 95 – Representação do modelo 15, em corte e em planta

Especificações	
Largura da rua	Igual ou superior a 36m
Tipo de alinhamento	Bilateral
Classe de largura de copa	Muito larga (igual ou superior a 12m) ver Tabela 6, subcapítulo 4.2.5.
Distância entre eixo de implantação da árvore e o limite lateral da rua	Mínimo 9m
Compasso de plantação recomendado	Mínimo 13,30m

Tabela 23 – Especificações do modelo 15

Modelo de arborização desenvolvido para ruas muito largas utilizando alinhamentos laterais com árvores de copa muito larga.

Os espaços da arborização vão situar-se nas laterais da rua, entre os espaços pedonais e viários, apresentando uma largura mínima de 3m. Os espaços de mobilidade pedonal encontram-se junto dos limites laterais da rua, com uma largura mínima de 7,50m, podendo albergar zonas de estadia, jardim ou ciclovia segregada. O espaço de mobilidade viária localiza-se ao centro da rua, com uma largura mínima de 6m; dependendo da sua largura, este espaço pode incluir pelo menos duas vias de circulação, ciclovias segregadas e/ou estacionamento.

A partir dos 36m de largura da rua, é possível utilizar a árvore de maiores dimensões em mais do que uma fileira e em diversos posicionamentos, o que potencia a provisão dos serviços de ecossistemas desenvolvidos pela árvore em contexto de arruamento. Neste modelo, a árvore surge em alinhamentos laterais conferindo um carácter mais tradicional à rua e permitindo a associação de múltiplas funções no espaço da arborização (por exemplo, estadia ou estacionamento). Adicionalmente, é também possível expandir a área permeável para o espaço pedonal, constituindo oportunidades para a existência de jardim ao longo dos passeios laterais; neste caso, deve garantir-se que se mantém o devido afastamento entre o local de implantação da árvore e o limite da rua.

Modelo 16 – Rua muito larga com alinhamento central duplo de árvores de copa muito larga

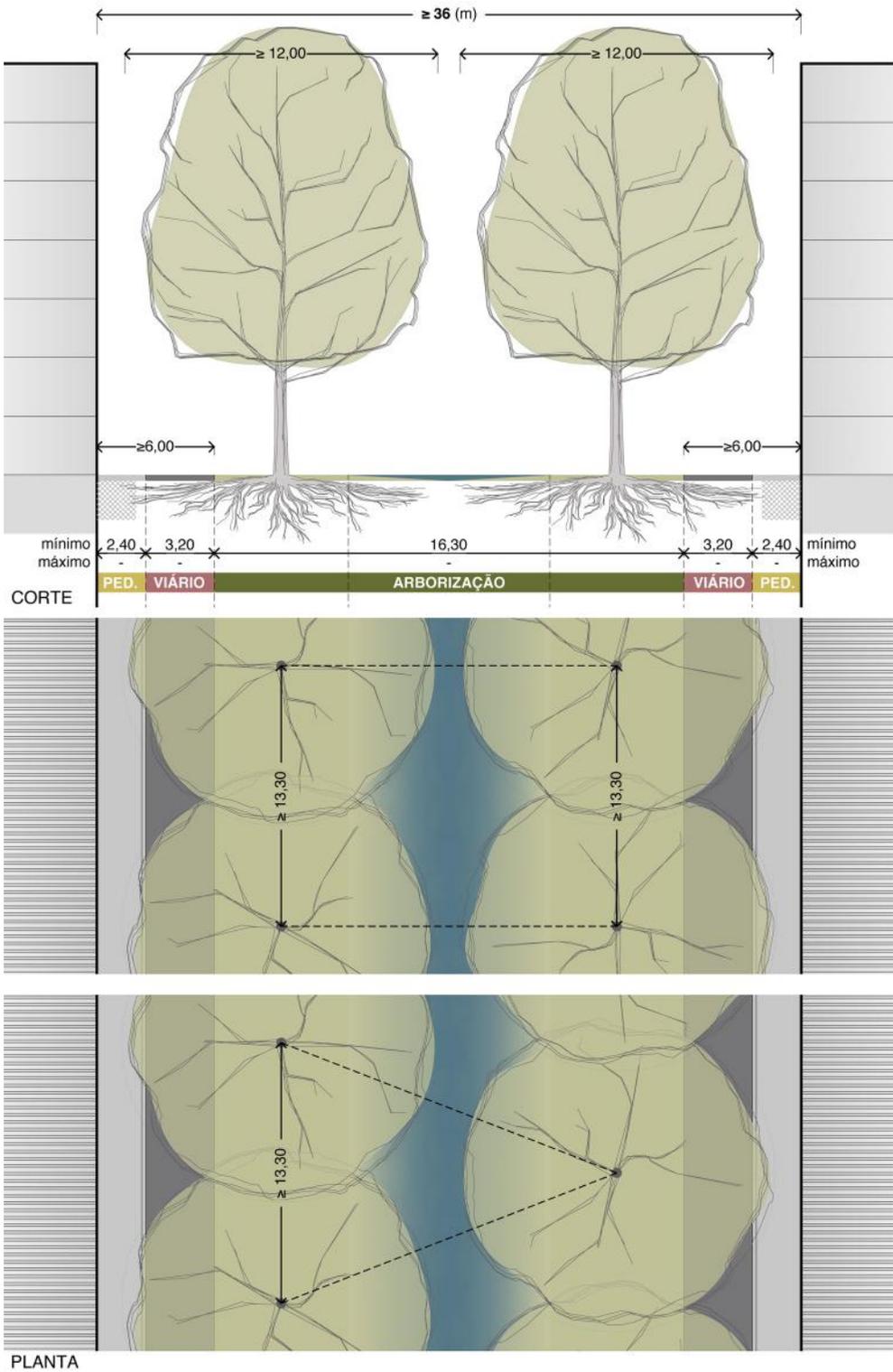


Figura 96 – Representação do modelo 16, em corte e em planta

Especificações	
Largura da rua	Igual ou superior a 36m
Tipo de alinhamento	Central duplo
Classe de largura de copa	Muito larga (igual ou superior a 12m) ver Tabela 6, subcapítulo 4.2.5.
Compasso de plantação recomendado	Mínimo 13,30m

Tabela 24 – Especificações do modelo 16

Modelo de arborização aplicável a ruas muito largas utilizando um alinhamento central duplo composto por árvores de copa muito larga.

O espaço de arborização surge ao centro da rua, numa faixa permeável contínua com a largura mínima de 16,30m. Os espaços de mobilidade pedonal encontram-se junto dos limites laterais da rua, com largura mínima de 2,40m, podendo incluir zonas de estadia e ciclovia segregada. Existem dois espaços de mobilidade viária, um de cada lado da faixa central, com largura mínima de 3,20m; dependendo da sua largura, cada espaço viário pode acolher pelo menos uma via de circulação, ciclovia segregada ou estacionamento.

Este modelo é especialmente vantajoso no que toca ao seu potencial ecológico, mas também ao seu potencial para recreio e modos suaves de circulação. Por um lado, a utilização de árvores muito largas e a elevada superfície permeável gerada por este modelo intensificam os benefícios bioclimáticos (regulação térmica e do ciclo hidrológico, libertação de oxigénio, sequestro de carbono, captura de poluentes, etc.) e maximizam as oportunidades para a biodiversidade. Como referido anteriormente, a hipótese de introdução de um sistema urbano de drenagem sustentável, torna este modelo particularmente adequado para ruas sujeitas a fortes efeitos da precipitação, escoamento superficial e inundações. Por outro lado, a faixa permeável contínua ao centro da rua apresenta a possibilidade de inclusão de zonas de recreio ativo e passivo, assim como vias segregadas para circulação pedonal e de modos suaves distanciadas do restante tráfego viário (por exemplo, com a criação de um jardim central).

Modelo 17 – Rua muito larga com alinhamento múltiplo: alinhamento central de árvores de copa muito larga e alinhamentos laterais de árvores de copa média-larga

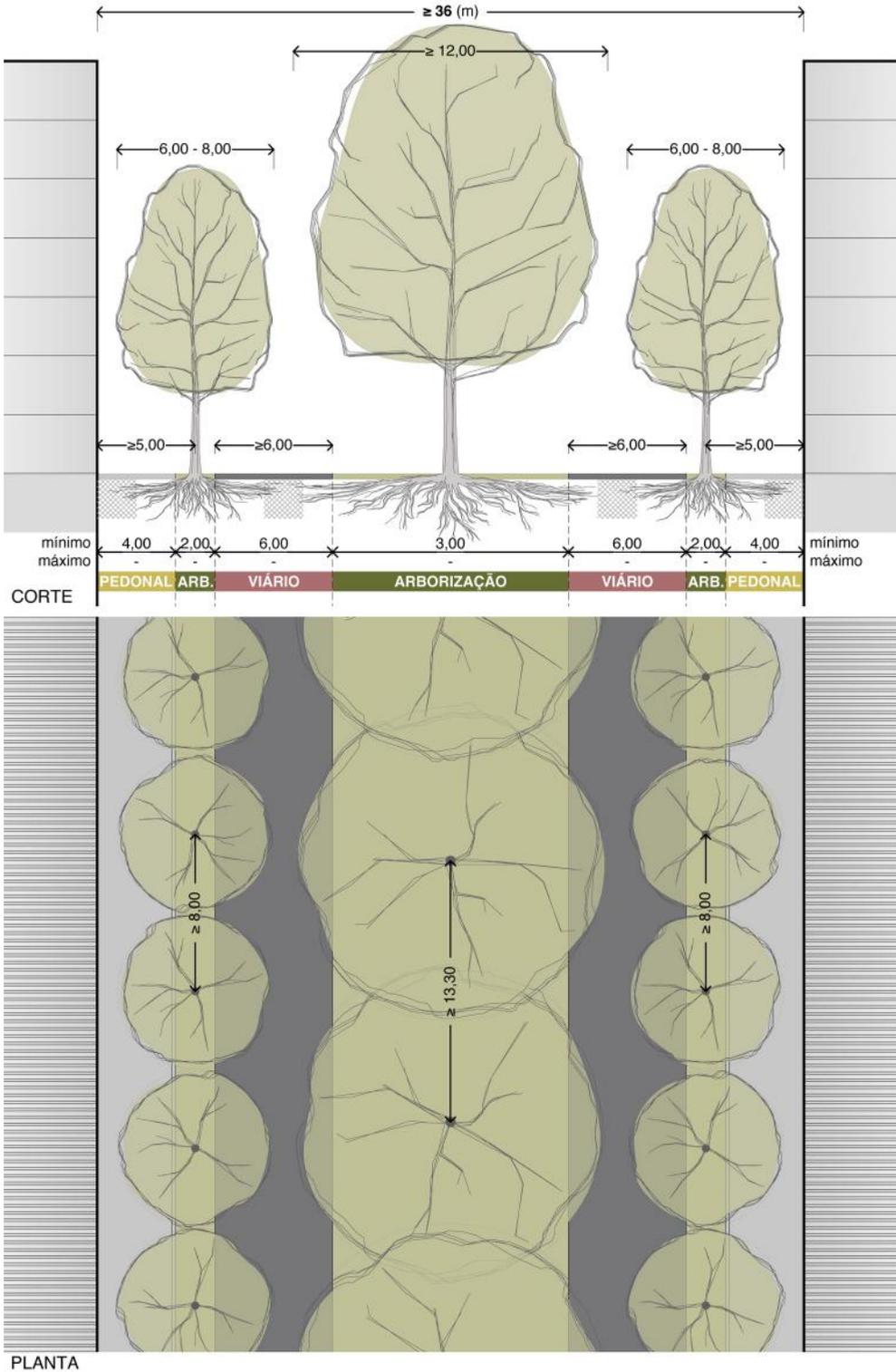


Figura 97 – Representação do modelo 17, em corte e em planta

Especificações	
Largura da rua	Igual ou superior a 36m
Tipo de alinhamento	Múltiplo (1 alinhamento central + 2 alinhamentos laterais)
Classe de largura de copa	Muito larga (igual ou superior a 12m) <i>ver Tabela 6, subcapítulo 4.2.5.</i> Média-larga (igual ou superior a 6m e inferior a 8m) <i>ver Tabela 4, subcapítulo 4.2.3.</i>
Distância entre eixo de implantação da árvore e o limite lateral da rua	Mínimo 5m para as árvores dos alinhamentos laterais (copa média-larga)
Compasso de plantação recomendado	Mínimo 13,30m para as árvores de copa muito larga Mínimo 8m para árvores de copa média-estreita
Largura do espaço da arborização	Ao centro da rua: mínimo 3m Nas laterais da rua: mínimo 2m

Tabela 25 – Especificações do modelo 17

Modelo de arborização criado para ruas muito largas utilizando uma composição múltipla: um alinhamento central de árvores de copa muito larga e alinhamentos laterais de árvores de copa média-larga.

Os espaços de mobilidade pedonal encontram-se junto dos limites laterais da rua, com largura mínima de 4m, podendo albergar zonas de estadia, zonas ajardinadas ou ciclovia segregada. Surgem dois espaços de mobilidade viária, separados pela faixa central, com uma largura mínima de 6m; dependendo da sua largura, cada espaço viário poderá incluir uma ou mais vias de circulação, ciclovia segregada e/ou estacionamento.

Tal como sucede com outros modelos com alinhamentos múltiplos, este mostra um interesse acrescido devido à diversidade ecológica e estética que introduz através do recurso a espécies com diferentes características. Neste caso, este modelo é ainda majorado pela utilização da maior árvore possível, o que o torna muito interessante ao nível dos serviços do ecossistema providenciados. No entanto, as características do zonamento ao nível do solo e pavimentos conduzem a uma preponderância de áreas pavimentadas, sugerindo a sua maior adequabilidade para ruas com elevadas exigências de tráfego e menor adequabilidade para situações que desejem maximizar a permeabilidade.

Modelo 18 – Rua muito larga com alinhamento múltiplo: alinhamento central duplo de árvores de copa larga e alinhamentos laterais de árvores de copa média-estreita

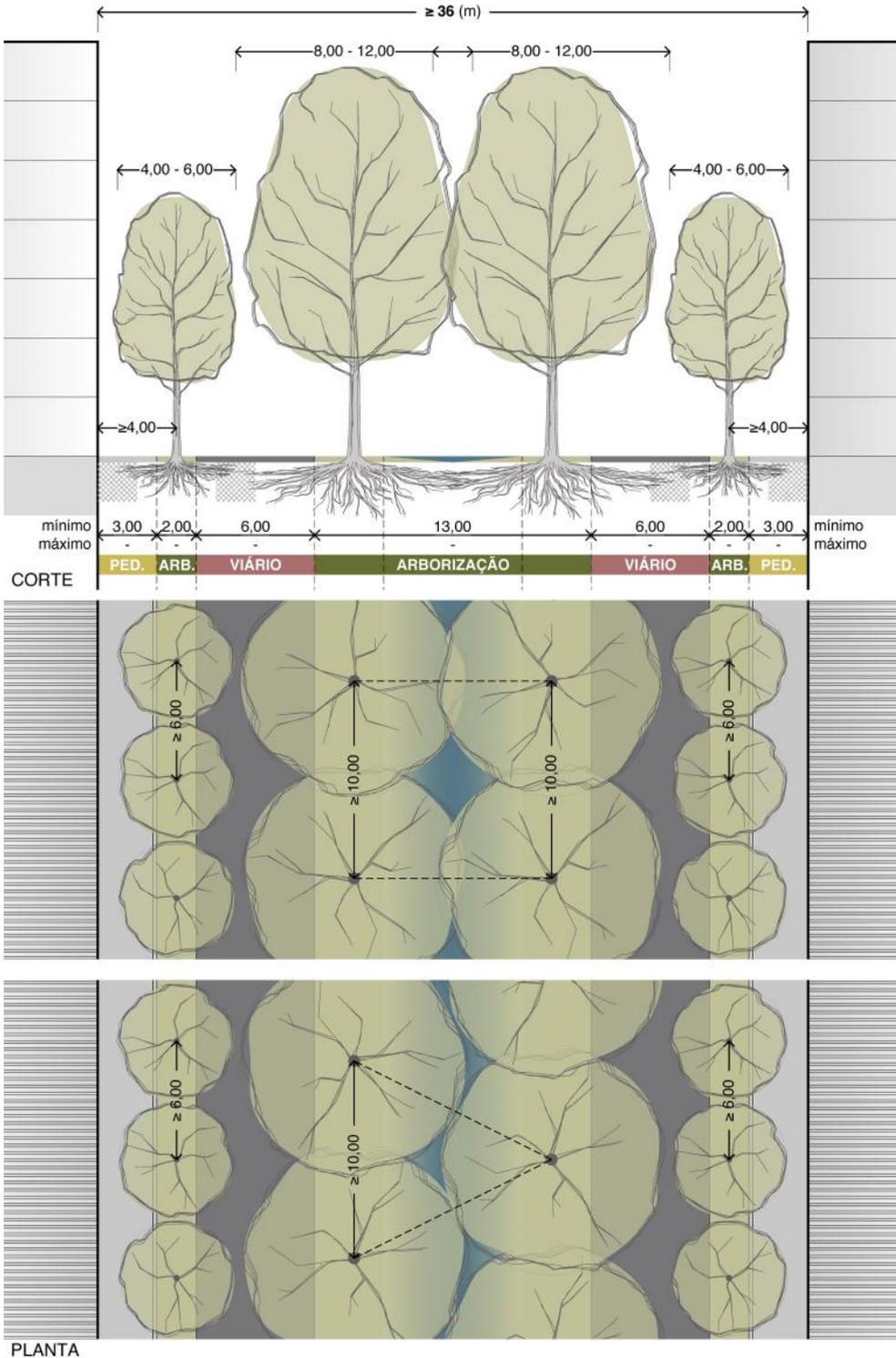


Figura 98 – Representação do modelo 18, em corte e em planta

Especificações	
Largura da rua	Igual ou superior a 36m
Tipo de alinhamento	Múltiplo (2 alinhamentos centrais + 2 alinhamentos laterais)
Classe de largura de copa	Larga (igual ou superior a 8m e inferior a 12m) <i>ver Tabela 5, subcapítulo 4.2.4.</i> Média-estreita (igual ou superior a 4m e inferior a 6m) <i>ver Tabela 3, subcapítulo 4.2.4.</i>
Distância entre eixo de implantação da árvore e o limite lateral da rua	Mínimo 4m para as árvores dos alinhamentos laterais (copa média-estreita)
Compasso de plantação recomendado	Mínimo 10m para as árvores de copa larga Mínimo 6m para árvores de copa média-estreita
Largura do espaço da arborização	Ao centro da rua: mínimo 13m Nas laterais da rua: mínimo 2m

Tabela 26 – Especificações do modelo 18

Modelo de arborização desenvolvido para ruas muito largas, recorrendo a uma composição múltipla: um alinhamento central duplo com árvores de copa larga e alinhamentos laterais de árvores de copa média-estreita.

Os espaços de mobilidade pedonal encontram-se junto dos limites laterais da rua, com uma largura mínima de 3m, podendo incluir zonas de estadia ou ciclovia segregada. Existem dois espaços de mobilidade viária, separados pela faixa central, com uma largura mínima de 6m; dependendo da sua largura, cada espaço viário pode incluir uma ou mais vias de circulação, ciclovia segregada e/ou estacionamento.

A composição espacial sugerida por este modelo, do ponto de vista dos benefícios socio-ecológicos, resulta em: 1) acrescida diversidade de espécies; 2) elevada abundância de árvores; e 3) elevada área permeável. Por sua vez estes fatores poderão traduzir-se em vastas oportunidades para circulação pedonal, estadia e recreio, circulação de modos suaves e para a criação de habitats e corredores ecológicos (por exemplo, com a incorporação de um sistema urbano de drenagem sustentável). Este modelo maximiza o desempenho ecológico da rua e a sua fruição pelos cidadãos, podendo ficar relativamente diminuída a oportunidade para espaços viários e funções associadas.

Exemplos simplificados de aplicação e visualização de um modelo para uma rua muito largas

Exemplo 7 – Rua muito larga (32,20m) com alinhamento central de árvores de copa muito larga, do tipo plátano-híbrido (*Platanus x acerifolia*), plátano-oriental (*Platanus orientalis*), álamo-branco (*Populus alba* ‘Nivea’), Iódão (*Celtis australis*), pinheiro-manso (*Pinus pinea*) ou cedro-do-Líbano (*Cedrus libani*)

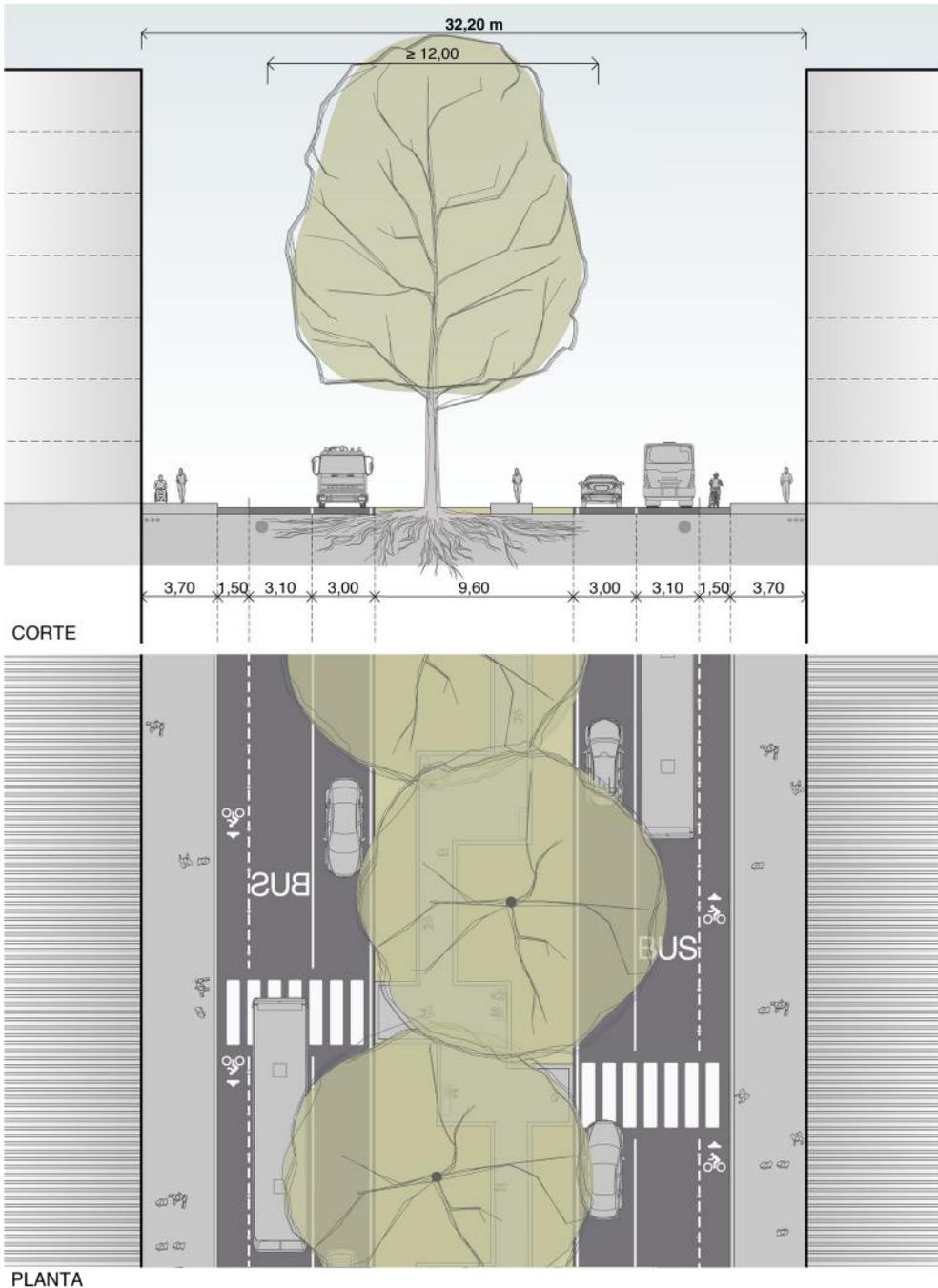


Figura 99 – Exemplo de aplicação do modelo 9 numa rua com 32,20m, com duas vias de trânsito automóvel, vias dedicadas a transporte público e arborização ao centro da rua em faixa contínua

Exemplo 8 – Rua muito larga (32,20m) com alinhamento bilateral de árvores de copa larga, do tipo carvalho (*Quercus coccinea*, *Quercus palustris*) ou freixo (*Fraxinus angustifolia* ‘Raywood’)

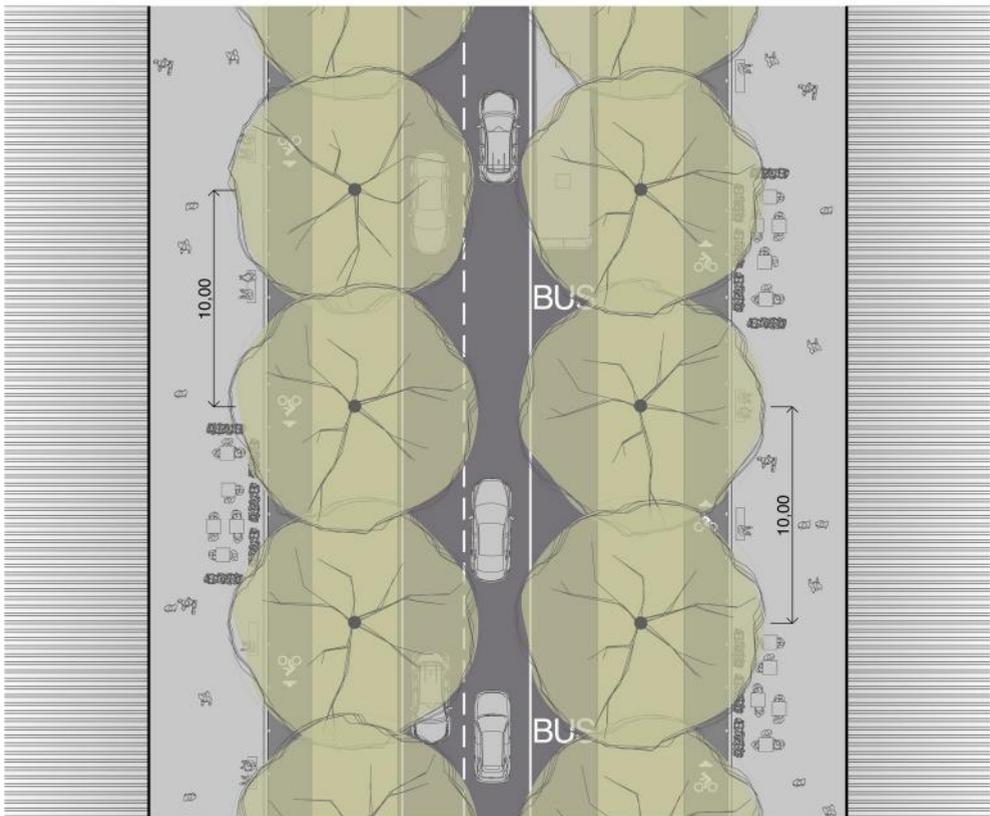
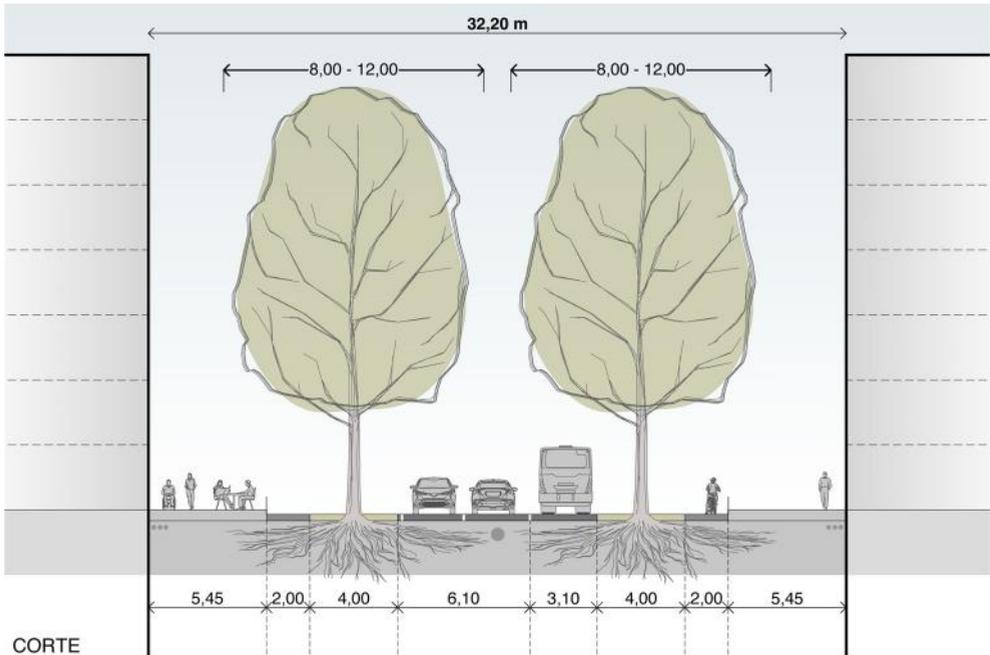
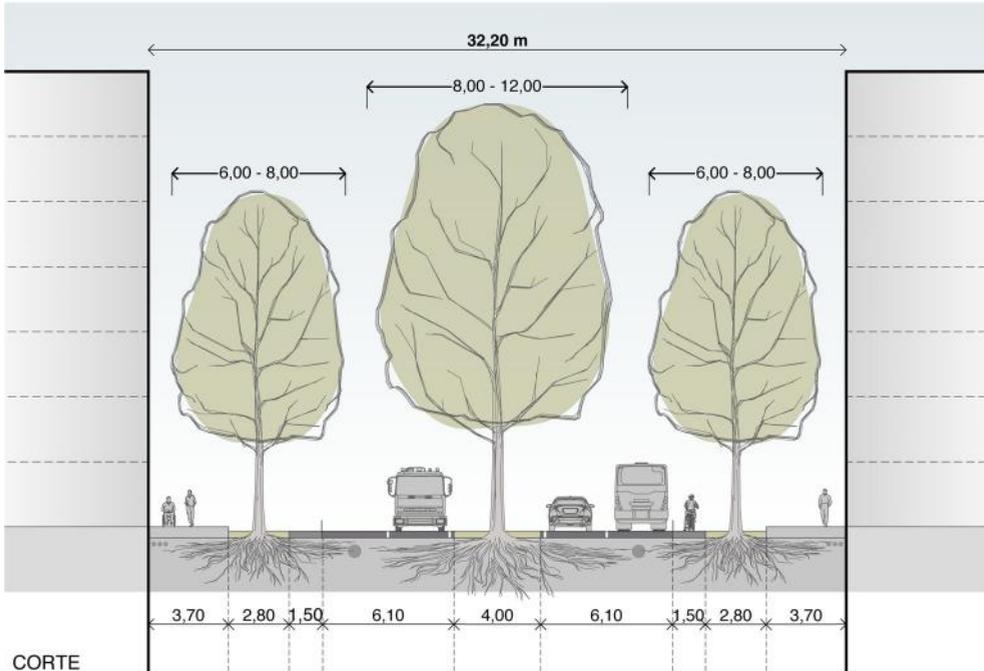
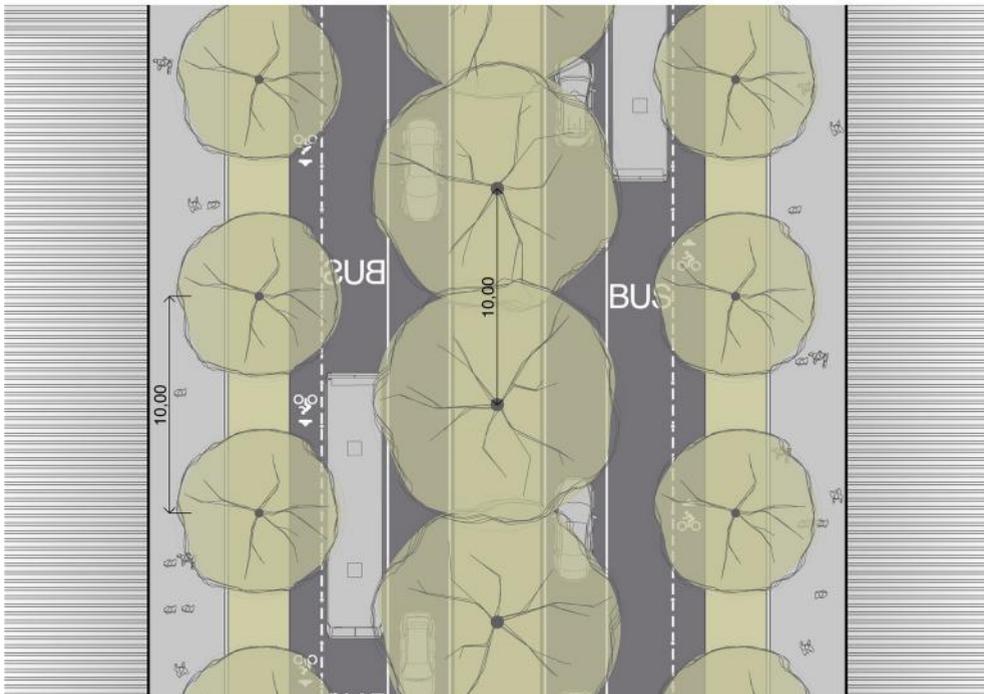


Figura 100 – Exemplo de aplicação do modelo 10 numa rua com 32,20m, com duas vias de trânsito automóvel, uma via dedicada a transporte público, duas ciclovias e arborização bilateral em faixa contínua

Exemplo 9 – Rua muito larga (32,20m) com alinhamento múltiplo: alinhamento central de árvore de copa larga, do tipo tília (*Tilia platyphyllos* ‘Fastigiata’), carvalho (*Quercus coccinea*) ou freixo (*Fraxinus angustifolia*), e alinhamentos laterais de árvore de copa média-larga, do tipo tulipeiro (*Liriodendron tulipifera* ‘Fastigiatum’), bétula (*Betula pubescens* ssp. *celtiberica*) ou ginkgo (*Ginkgo biloba*)



CORTE



PLANTA

Figura 101 – Exemplo de aplicação do modelo 13 numa rua com 32,20m, com duas vias de trânsito automóvel, duas vias dedicadas a transporte público, duas ciclovias e arborização em faixa contínua

Visualização realista da aplicação do modelo 13 para rua muito larga, baseado no exemplo 9



Vista de topo



Vista ao eixo da rua



Vista do passeio

Figura 102 – Rua muito larga (32,20m) com alinhamento múltiplo: alinhamento central de árvore de copa larga, do tipo tília (*Tilia platyphyllos* 'Fastigiata'), carvalho (*Quercus coccinea*) ou freixo (*Fraxinus angustifolia*), e alinhamentos laterais de árvore de copa média-larga, do tipo tulipeiro (*Liriodendron tulipifera* 'Fastigiatum'), bétula (*Betula pubescens* ssp. *celtiberica*) ou ginkgo (*Ginkgo biloba*)

6.2.6. Modelos de exceção

Para situações não previstas nos modelos gerais de arborização, foram desenvolvidos modelos de exceção como forma de introduzir pontualmente árvores em espaços ocasionais que as possam acolher. Estas exceções são particularmente relevantes em situações em que há grandes limitações à ocorrência de arborização contínua, na forma de alinhamentos, ou seja, em ruas estreitas (10–14m) e muito estreitas (largura inferior a 10m). Nas ruas estreitas, as opções para arborização contínua são muito restritas e aconselha-se apenas a utilização de alinhamentos unilaterais com árvores de copa estreita. Por sua vez, considera-se desadequada a arborização contínua de ruas muito estreitas, pois a presença da árvore nestes espaços contíguos iria provocar excessivos conflitos com o limite da rua ou iria comprometer a passagem de veículos de emergência.

Os modelos de exceção permitem aproveitar oportunidades extraordinárias de espaço que surgem frequentemente sob a forma de áreas de alargamento pontual, devido a recuo do edificado ou em intersecções das ruas, para a introdução de árvores. Tal como nos restantes modelos, o posicionamento da árvore nestes casos deve atender a três regras fundamentais: 1) garantia de um corredor para veículos de emergência, com a largura mínima de 6m; 2) garantia de um corredor para circulação pedonal, com a largura mínima de 2,40m; 3) garantia de um afastamento mínimo de 1m entre o limite da rua e a copa da árvore até aos seus 20–30 anos. Também se deve procurar introduzir a maior árvore possível para o espaço disponível. Estes modelos podem ser conjugados com outros modelos de arborização, sempre que for relevante uma árvore nestas circunstâncias.

Os **modelos A, B, C e D** (Figura 103) são aplicáveis em ruas onde existe um recuo pontual das fachadas. Consoante a dimensão deste recuo, é possível incluir árvores de diferentes classes de largura de copa desde que seja assegurada a distância mínima entre o eixo de implantação e o limite lateral da rua, conforme o indicado na Tabela 27. Podem ser introduzidas nestes espaços uma ou mais árvores, desde que se assegure a distância mínima para o compasso de plantação de cada classe de largura de copa.

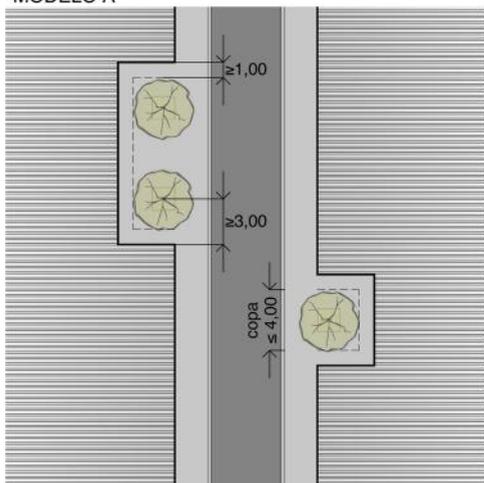
Os **modelos E e F** (Figura 104) tiram proveito de espaços que surgem em zonas de cruzamento ou entroncamento de ruas, onde é possível introduzir uma ou mais árvores. O modelo E refere-se a situações em que existe espaço para a árvore junto do limite da rua e/ou sobre o espaço pedonal. O Modelo F refere-se a situações em que surge espaço para a árvore ao centro da rua, em contexto de ilhéus direcionais ou pequenas rotundas.

A aplicação do modelo B pode ser observada no exemplo 10 (idêntico ao exemplo 2, cuja visualização realista pode ser vista na Figura 74), onde se demonstra a articulação com o modelo 1. Nesta rua estreita, de 12,90m de largura, surge um recuo das fachadas que permite a introdução de árvores num local não previsto pelo modelo geral de arborização.

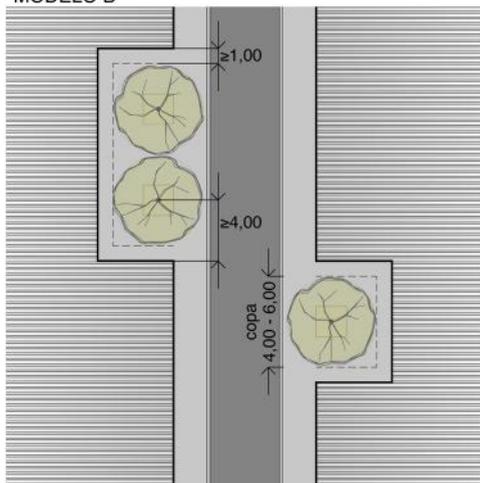
Especificações	
Modelo A	
Classe de largura de copa	Estreita (inferior a 4m) ver Tabela 2, subcapítulo 4.2.1
Compasso de plantação	Mínimo 6m
Distância entre eixo de implantação e limite lateral da rua	Mínimo 3m
Modelo B	
Classe de largura de copa	Média-estreita (igual ou superior a 4m e inferior a 6m) ver Tabela 3, subcapítulo 4.2.2.
Compasso de plantação	Mínimo 6m
Distância entre eixo de implantação e limite lateral da rua	Mínimo 4m
Modelo C	
Classe de largura de copa	Média-larga (igual ou superior a 6m e inferior a 8m) ver Tabela 4, subcapítulo 4.2.3.
Compasso de plantação	Mínimo 8m
Distância entre eixo de implantação e limite lateral da rua	Mínimo 5m
Modelo D	
Classe de largura de copa	Larga (igual ou superior a 8m e inferior a 12m) ver Tabela 5, subcapítulo 4.2.4.
Compasso de plantação	Mínimo 10m
Distância entre eixo de implantação e limite lateral da rua	Mínimo 7m

Tabela 27 – Especificações dos modelos de exceção A, B, C e D (Figura 103)

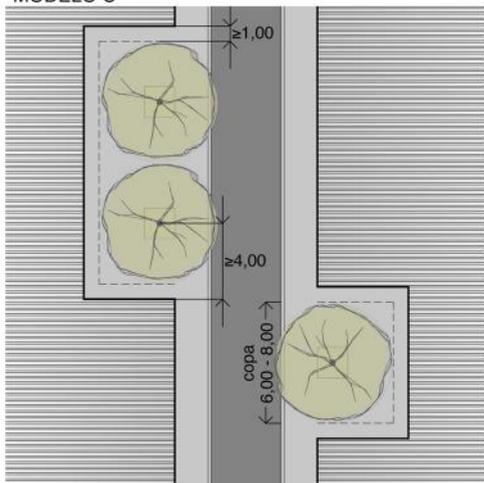
MODELO A



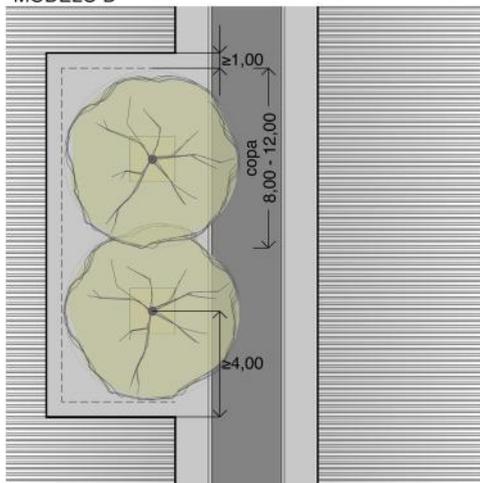
MODELO B



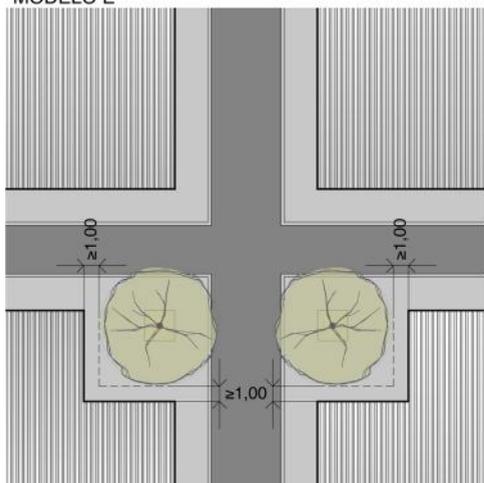
MODELO C



MODELO D



MODELO E



MODELO F

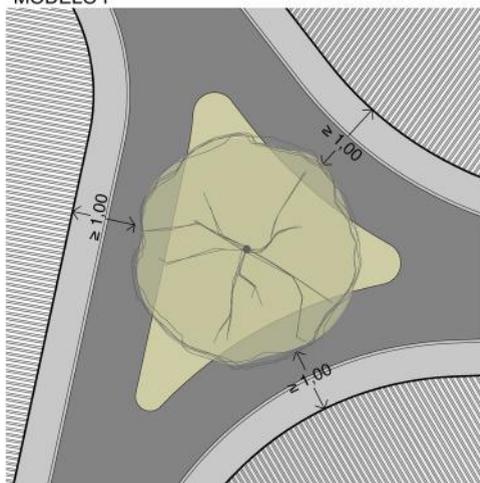


Figura 103 – Representação dos modelos de exceção A, B, C, D, E e F em planta

Exemplo simplificado de aplicação de um modelo de exceção

Exemplo 10 – Rua estreita (12,90m) com arborização pontual de árvores de copa média-estreita, do tipo freixo de copa estreita (*Fraxinus ornus* 'Obelisk'), numa situação de recuo das fachadas, a complementar um alinhamento unilateral de árvores de copa estreita.

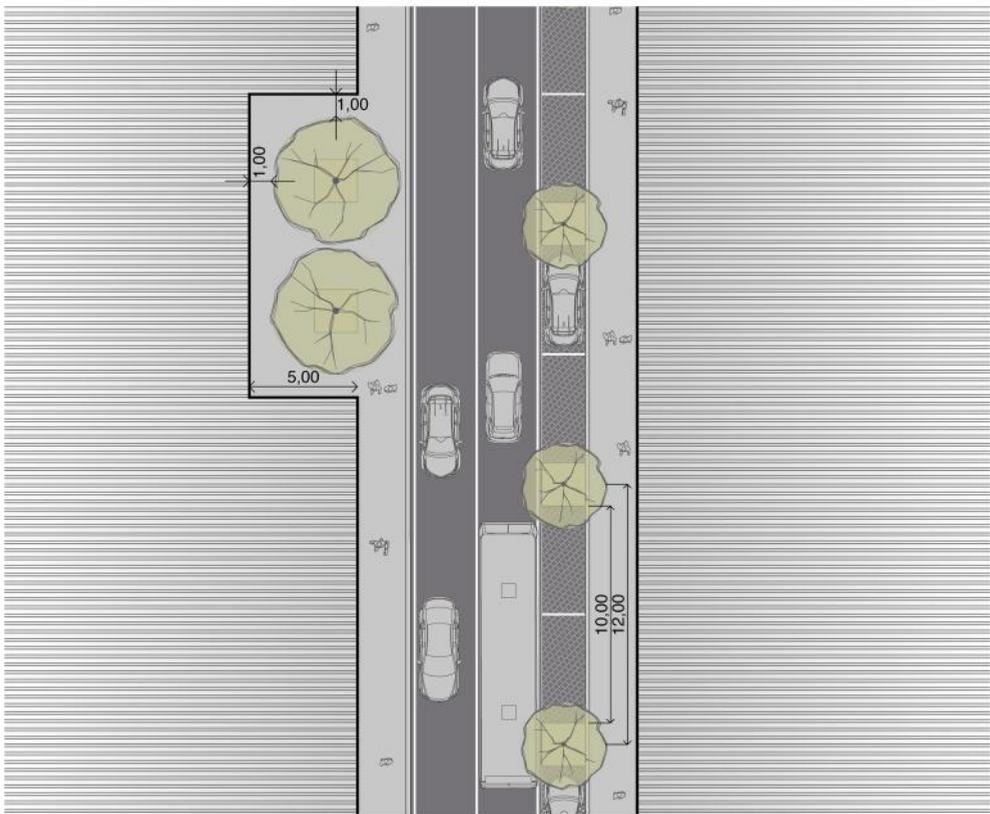
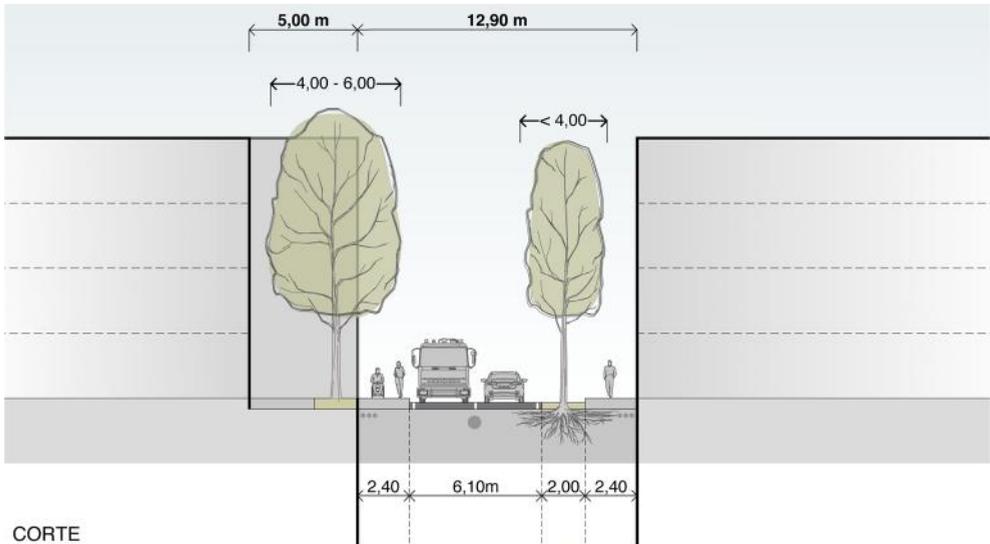


Figura 104 – Exemplo de aplicação do modelo B numa rua com 12,90m, com duas vias de trânsito e alinhamento unilateral de árvores alternadas com estacionamento

7. Protótipos de intervenção: demonstração da aplicação dos modelos em ruas reais do Porto

Os modelos de arborização apresentados no capítulo anterior (ver subcapítulo 6.2) refletem espacialmente todas estas orientações para ruas com diferentes larguras e diferentes configurações, articulando espaços de arborização, com espaços de circulação pedonal e espaços de circulação viária. Na generalidade dos modelos, a circulação do veículo de emergência é assegurada pelo espaço viário; apenas em alguns casos, prevê-se também a utilização de outros espaços como complemento para o corredor de emergência. O presente capítulo pretende auxiliar a transição entre a abstração dos modelos de arborização e a concretização do projeto de arborização de uma rua, demonstrando também os passos metodológicos que se vão traduzir nas diferentes soluções para os 10 protótipos de intervenção.

Os modelos de arborização ilustram diferentes soluções que otimizam a presença da árvore na rua e garantem o cumprimento dos diversos princípios orientadores apresentados acima. Em todos os modelos é sugerido o posicionamento dos espaços associados às diferentes funções (arborização, circulação pedonal e viária; subcapítulo 6.2), assim como uma gama de variação relativa ao seu dimensionamento, pois pretende-se que sejam completamente flexíveis, abrangentes e aplicáveis a todas as ruas da cidade. Para a criação de um projeto de arborização de arruamento, é necessário adequar a arborização às características particulares de cada rua, o que implica entrar em maior detalhe, definição e confronto com realidades e heterogeneidades não suportadas nos modelos (subcapítulo 6.2).

7.1. Seleção dos protótipos de intervenção

De entre todas as ruas arborizáveis previamente identificadas (subcapítulo 5.3), foram selecionados 10 casos de estudo, aqui denominados como **protótipos de intervenção** ou **ruas-protótipo**.

A escolha das ruas-protótipo incidiu particularmente em ruas relevantes ao nível da dinâmica da cidade, que são **importantes eixos viários** (eixos urbanos estruturantes e complementares, no PDM; CMP, 2021), que se localizam em **zonas densamente construídas e edificadas** (áreas de frente urbana contínua de tipo I ou tipo II, no PDM; CMP, 2021) em que se denota alguma irregularidade ou baixa congruência urbanística/arquitetónica, e com **poucos espaços verdes de acesso público** (PDM; CMP, 2021), que ocorrem especialmente na zona mais central da cidade (por exemplo, zona da Constituição ou do Bonfim).

A arborização de arruamento pode ajudar a organizar, regularizar e amenizar os espaços-canal das ruas, beneficiando assim os locais mais frequentemente percorridos da cidade, como são os eixos estruturantes. Do mesmo modo, a presença de árvores em zonas de malha urbana densa, intrincada e heterogénea estimula a sua vivência, qualidade estética e desempenho ecológico, tendo uma forte contribuição para a saúde e bem-estar dos cidadãos.

É também nestas zonas densamente construídas onde é mais evidente a escassez de espaços verdes e onde as ruas se tornam mais relevantes para a introdução de

arborização em espaço público. Neste contexto, verifica-se que os benefícios providenciados pelas árvores (e outros tipos de vegetação) dependem da acessibilidade dos espaços verdes e da sua proximidade à maior concentração de pessoas, sendo por isso importante haver uma distribuição equilibrada de espaços verdes, como as ruas arborizadas, ao longo de toda a cidade (Schindler et al., 2022). Vários autores salientam a importância dos espaços verdes de proximidade em ambiente urbano e recomendam a sua ocorrência a menos de 300m de distância das residências, o que equivale a um percurso de 5 a 15 minutos para os cidadãos mais vulneráveis, como pessoas de mobilidade reduzida, crianças ou idosos (Ambiente Italia Research Institute, 2003; Natural England, 2010; WHO, 2016).

O processo de seleção dos protótipos reflete, em primeiro lugar, sobre a diversidade de classes de **largura de rua**, sendo que todas as classes de ruas arborizáveis estão representadas: **ruas estreitas**, **ruas médias**, **ruas largas** e **ruas muito largas**. Foi aplicada uma ponderação entre a representatividade dos tipos de ruas do Porto e a variedade dos modelos de arborização. Isto significa que apenas foi selecionada uma rua estreita, pois, embora seja a classe de largura de rua mais abundante na cidade, é a classe que apresenta menores oportunidades de arborização devido aos constrangimentos de espaço. Também, apenas se abordou uma rua muito larga, uma vez que são bastante raras no universo de ruas do Porto, ainda que sejam as ruas com mais possibilidades de arborização. A atenção prioritária incidiu sobre ruas médias e largas ainda relevantes no contexto das ruas arborizáveis e com diversas oportunidades de arborização (foram selecionadas quatro ruas médias e quatro ruas largas).

A seleção dos protótipos incidiu maioritariamente sobre ruas com maior **prioridade de intervenção na arborização** (ver subcapítulo 6.1) tendo sido selecionadas ruas com nível de prioridade **muito alta**, **alta** ou **média**. Foram também escolhidas ruas com **arborização associada a desenho urbano de carácter histórico ou referencial** (definido no subcapítulo 5.3.), pelos desafios adicionais e excepcionais que a sua arborização enfrenta. Pretendeu-se também realçar a diversidade de condições bioclimáticas, tendo sido escolhidas ruas com **orientação** variada, representativa da diversidade existente.

Em todos os passos desta seleção, foram tidos em conta diversos interesses e aspetos considerados prioritários pelo município, debatidos particularmente com o Departamento Municipal de Espaços Verdes e Gestão de Infraestruturas e com o Departamento Municipal de Planeamento Urbano.

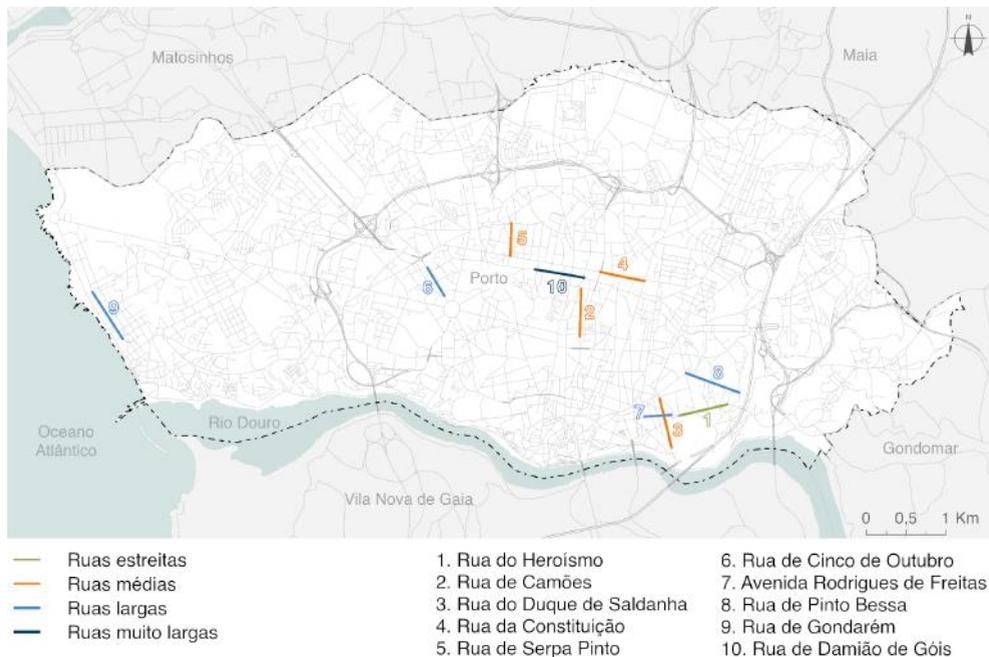
O conjunto dos protótipos de intervenção é então constituído por troços dos seguintes arruamentos: Rua do Heroísmo; Rua de Camões; Rua do Duque de Saldanha; Rua da Constituição; Rua de Serpa Pinto; Rua de Cinco de Outubro; Avenida de Rodrigues de Freitas; Rua de Pinto Bessa; Rua de Gondarém; e, Rua de Damião de Góis. A síntese dos critérios de seleção destes casos é apresentada na Tabela 28 e na Tabela 29 e a sua localização na cidade pode ser consultada na Figura 106.

Muitas outras ruas podiam ser experimentadas, mas, para o intervalo de tempo disponível para a execução desta parte do trabalho, não foi possível alargar a amostragem. Considera-se, no entanto, representativa a amostra selecionada por incluírem casos onde o problema da arborização é premente resolver, quer pela sua ausência, quer pela revisão das existentes.

Apesar de terem sido desenvolvidas propostas de intervenção para 10 ruas da cidade, nesta publicação iram ser mostradas apenas com maior detalhe 6 destas ruas.

Todas as propostas, incluindo todas as peças desenhadas, encontram-se disponíveis no relatório disponível *online* no Repositório Aberto da Universidade do Porto e no *website* do município.

Figura 105 – Localização dos troços de rua selecionados para protótipos de intervenção



		Protótipos de intervenção					
		Rua do Heroísmo	Rua de Camões	Rua do Duque de Saldanha	Rua da Constituição	Rua de Serpa Pinto	
Critérios de seleção	Classe de largura de rua	Rua estreita	Rua média	Rua média	Rua média	Rua média	
	Classificação na rede prioritária de arborização	Prioridade alta	Prioridade muito alta	Arborização associada a desenho de carácter histórico-referencial	Prioridade muito alta	Prioridade muito alta	
	Estado atual de arborização	Troço de rua não arborizado	Troço de rua não arborizado	Arborização desadequada (localização/posicionamento da árvore na rua)	Troço de rua não arborizado	Troço de rua não arborizado	
	Classificação da estrutura viária (PDM, 2021)	Eixo urbano estruturante	Eixo urbano complementar	Eixo urbano estruturante + Rua de pavimento local	Eixo urbano estruturante	Eixo urbano complementar	
	Qualificação do solo predominante da envolvente imediata (PDM, 2021)	Frente urbana contínua do tipo I	Frente urbana contínua do tipo II	Frente urbana contínua do tipo I	Frente urbana contínua do tipo II	Frente urbana contínua do tipo II	
	Proporção de espaços verdes na envolvente (<i>buffer</i> 300m) ¹	1,90%	3,40%	1,40%	1,20%	0,00%	
	Orientação	Este-Oeste	Norte-Sul	Norte-Sul	Este-Oeste	Norte-Sul	

Protótipos de intervenção					
Rua de Cinco de Outubro	Avenida de Rodrigues de Freitas	Rua de Pinto Bessa	Rua de Gondarém	Rua de Damião de Góis	
Rua larga	Rua larga	Rua larga	Rua larga	Rua muito larga	
Prioridade média	Arborização associada a desenho de carácter histórico-referencial	Prioridade muito alta	Arborização associada a desenho de carácter histórico-referencial	Prioridade muito alta (troço não arborizado) + prioridade muito baixa (troço arborizado)	
Arborização desadequada (espécie “invasora” e perenifólia)	Arborização desadequada (localização/posicionamento da árvore na rua)	Troço de rua não arborizado	Arborização desadequada (localização/posicionamento da árvore na rua)	Parte do troço não é arborizado, restante está arborizado com espécies adequadas	
Eixo urbano estruturante	Eixo urbano estruturante	Eixo urbano estruturante + Eixo urbano complementar	Rua de provimento local	Eixo urbano estruturante	
Frente urbana contínua do tipo II	Frente urbana contínua do tipo I	Frente urbana contínua do tipo II	Frente urbana contínua do tipo II	Frente urbana contínua do tipo II	
6,20%	2,00%	0,40%	4,50%	0,00%	
Noroeste-Sudeste	Este-Oeste	Noroeste-Sudeste	Noroeste-Sudeste	Este-Oeste	

¹Considera-se que uma distância linear de 300m equivale, aproximadamente, a um percurso de 5 a 15 minutos a pé para idosos ou crianças (Natural England, 2010; WHO, 2016). Para efeitos de comparação, a proporção média de espaços verdes de acesso público na cidade é 5,93%.

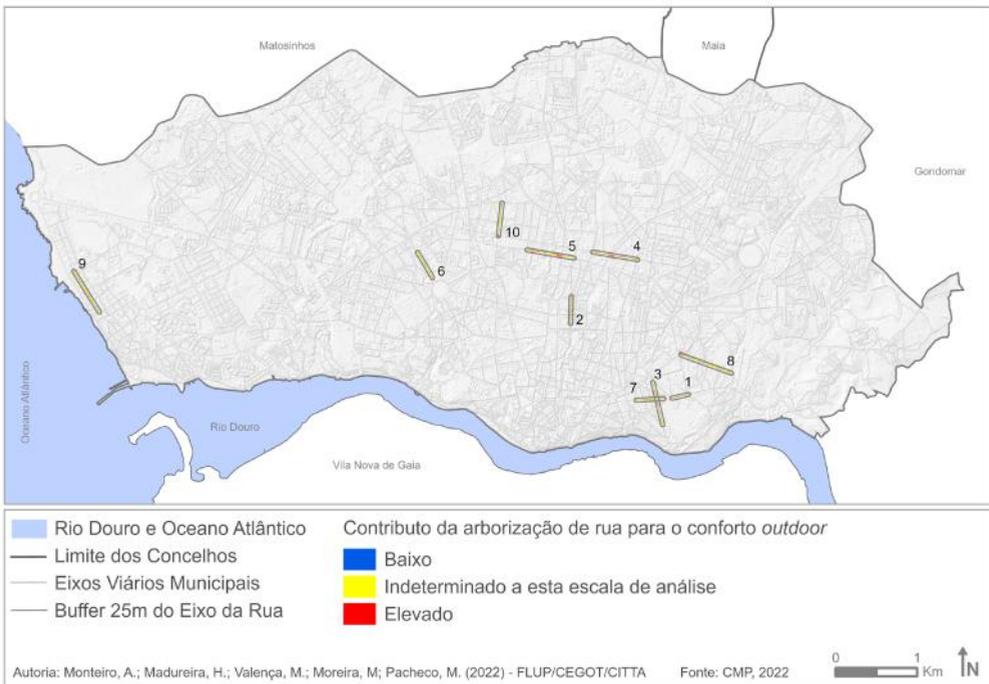
Tabela 28 e 29 – Síntese de alguns critérios de seleção dos protótipos de intervenção (Rua do Heroísmo, Rua de Camões, Rua do Duque de Saldanha, Rua da Constituição e Rua de Serpa Pinto, Rua de Cinco de Outubro, Avenida de Rodrigues de Freitas, Rua de Pinto Bessa, Rua de Gondarém e Rua de Damião de Góis)

7.2. Contexto bioclimático das ruas-protótipo

7.2.1. Introdução

No subcapítulo 5.2 concluiu-se que várias ruas da cidade do Porto têm troços cuja avaliação da sua (in)aptidão para a introdução e/ou conservação de árvores era difícil de aferir à escala do concelho (Figura 107). Tal decorre da complexidade do comportamento da *matrioska* climática e da necessidade de realizar uma leitura integrada à mesoescala, à escala local e à microescala. À mesoescala, é necessário considerar o sítio e a posição geográfica (latitude, proximidade ao mar e ao rio, diferenciação altimétrica, etc.), a inclinação dos raios solares e o estado de tempo. À escala local é preciso adicionar ao atrito natural a rugosidade artificial, as formas e volumetrias, a diversidade de elementos presentes e o metabolismo existente. E, à escala da rua – microescala – é essencial estimar como é que os comportamentos da cada um dos elementos climáticos nas duas escalas espaciais anteriores são modificados de acordo com a orientação, a exposição, o *Aspect Ratio*, o *Sky View Factor* e as características físico químicas específicas dos vários elementos, materiais, formas e volumes presentes. Aconselhava-se, então, que se aprofundasse o estudo em áreas específicas recorrendo a outras metodologias de análise.

Figura 106 – Potencial contributo da arborização das ruas-protótipo para o conforto outdoor. As ruas-protótipo estão numeradas conforme a seguinte correspondência: (1) Rua do Heroísmo, (2) Rua de Camões, (3) Rua Duque Saldanha, (4) Rua da Constituição, (5) Rua de Serpa Pinto, (6) Rua de Cinco de Outubro, (7) Avenida de Rodrigues de Freitas, (8) Rua de Pinto Bessa, (9) Rua de Gondarém, (10) Rua de Damião de Góis



Entretanto, numa segunda fase, foram selecionadas, com base no diagnóstico multidisciplinar efetuado, dez ruas portuenses que, enquanto protótipos, representassem

a diversidade existente e garantissem a futura replicabilidade das recomendações que viessem a ser sugeridas.

O presente subcapítulo tem como objetivo contribuir para um conhecimento mais aprofundado do contexto bioclimático das 10 ruas que foram definidas como ruas-protótipo. Adotando-se a necessária abordagem multiescalar, pretende-se simultaneamente pormenorizar, para a escala das ruas-protótipo, o diagnóstico e as recomendações previamente definidos para a escala do concelho, e validar esses resultados com a introdução de uma metodologia adequada a esta escala de análise.

Para isso, depois de apresentar o quadro conceptual de análise, os princípios orientadores e as opções metodológicas, o presente subcapítulo organiza-se em três partes: a avaliação, a validação e as recomendações (Figura 108).

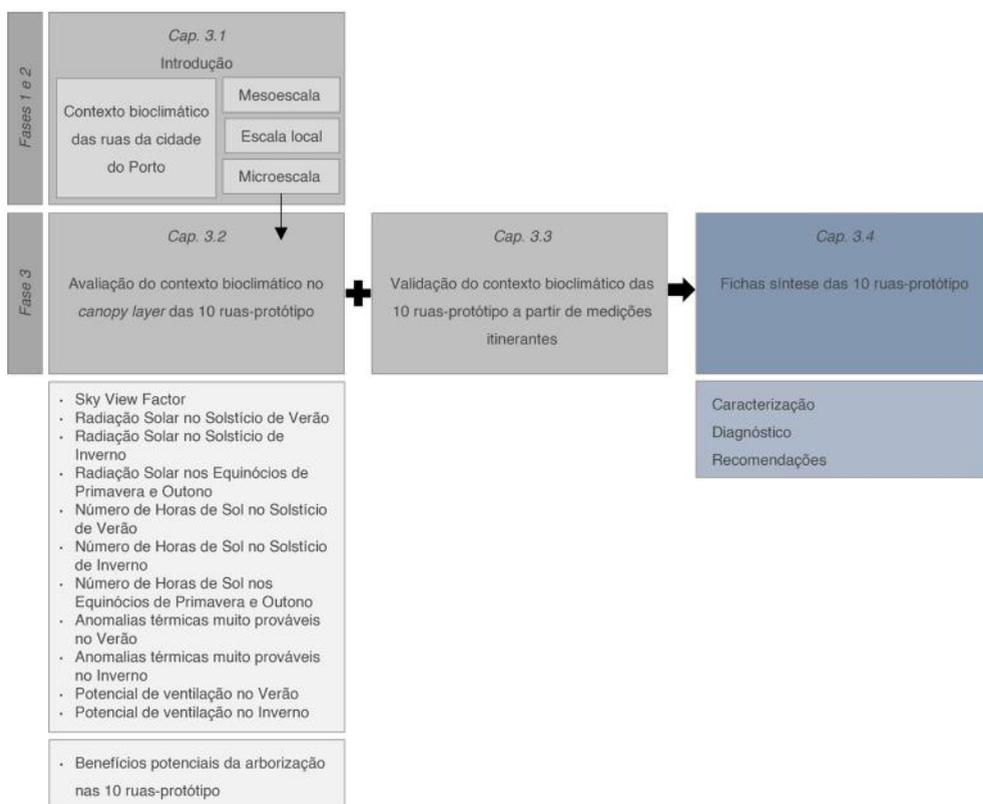


Figura 107 – Esquema síntese dos princípios orientadores, opções metodológicas e organização do trabalho

Na primeira parte serão apresentados os resultados da avaliação do contexto bioclimático *no canopy layer* das 10 ruas-protótipo (subcapítulo 7.2.2.). Partindo dos procedimentos metodológicos e dos resultados obtidos na avaliação do “contexto bioclimático das ruas da cidade do Porto”, descritos no subcapítulo 5.2., são agora apresentados resultados à escala de cada uma das 10 ruas-protótipo, sendo estes plasmados em cartografia síntese relativa:

ao *Sky View Factor*, que determina a “a porção de céu visível”, ou seja, a “janela” disponível para a entrada e a saída de energia natural e artificial em cada rua;

à radiação solar recebida nas quatro estações do ano: solstício de Verão, solstício de Inverno e equinócios de Primavera e Outono;

às horas de incidência de radiação solar direta nas quatro estações do ano: solstício de Verão, solstício de Inverno e equinócios de Primavera e Outono;

às anomalias térmicas mais prováveis no Verão e no Inverno;

ao potencial de ventilação no Verão e no Inverno;

ao potencial da arborização para o conforto térmico outdoor.

Na segunda parte (subcapítulo 7.2.3.) apresentam-se os resultados de uma campanha de medições itinerantes de temperatura nas 10 ruas protótipo decorrida no período compreendido entre julho e outubro de 2022. Apesar desta campanha de medições itinerantes, por limitações associadas à calendarização das várias fases do projeto, se ter concentrado em quatro meses do ano e não abranger, como desejável, momentos representativos de todo ciclo climático anual, os seus resultados permitem validar o contexto bioclimático das 10 ruas-protótipo.

A cartografia relativa à “avaliação do contexto bioclimático no *canopy layer*” (subcapítulo 7.2.2.) e à “validação do contexto bioclimático das 10 ruas-protótipo a partir de medições itinerantes” (subcapítulo 7.2.3.) está organizada por variável e disposta de acordo com sua localização geográfica, de oeste para leste e de norte para sul, de forma a facilitar a comparação por proximidade e similaridade das determinantes geográficas que podem condicionar os contextos climáticos vivenciados à microescala. No entanto, para efeitos de comparação, manteve-se a numeração das ruas adotada nos capítulos anteriores.

Finalmente, na terceira parte (subcapítulo 7.2.4.) apresentam-se, sob a forma de fichas síntese, as características, o diagnóstico do contexto bioclimático e as principais recomendações relativas ao efeito potencial, no conforto bioclimático, da arborização viária das ruas-protótipo cujas propostas de intervenção se podem consultar no subcapítulo 7.3.

7.2.2. Avaliação do contexto bioclimático no *canopy layer* das 10 ruas-protótipo

Do ponto de vista do contexto bioclimático, as 10 ruas-protótipo podem ser classificadas de acordo com três principais critérios, de acordo com: o potencial de receção de energia solar; a orientação; a carga térmica antrópica e o metabolismo urbano.

De acordo com o **potencial de receção de energia solar**, individualizam-se dois grupos de ruas:

i) No primeiro grupo incluem-se a rua Duque Saldanha (rua média), a rua da Constituição (rua média), e a rua Damião de Góis (rua muito larga), que pelas suas características geométricas têm um potencial elevado de receção de energia solar:

O *Sky View Factor* é médio a muito elevado, em pelo menos 50% da rua/troço de rua, com valores entre 0,4 e 1,0, à exceção da rua da Constituição, com valores entre 0,6 e 1,0;

A capacidade de acumulação de radiação solar é bastante diversa nas quatro estações do ano. No solstício de Verão, tem valores entre os 3000 e os 6000 Wh/m² em grande parte da extensão. No solstício de Inverno, tem segmentos que variam entre 250 e 1500 Wh/m², mas também áreas com valores mais baixos junto às fachadas que podem variar entre 0 e 250 Wh/m². Nos equinócios de Primavera e Outono, registam valores médios entre os 500 e os 4000 Wh/m².

As horas de incidência solar direta nas quatro estações do ano são também muito variadas. No solstício de Verão, recebem entre 4 e 12 horas de sol diárias em quase toda a extensão das ruas, com áreas que atingem valores de 12 a 16h. No solstício de Inverno, recebem entre 0 e 8 horas de sol. Nos equinócios de Primavera e Outono, a maior parte das vias recebem entre 4 e 12 horas de sol diárias, com algumas áreas com valores entre 0 e 4h.

As anomalias térmicas mais prováveis no Inverno variam entre 0,1°C e 1,2°C, à exceção da rua Duque Saldanha, que regista valores entre -2,5°C e 0,0°C. No Verão, os valores oscilam entre 3,6°C e 4,9°C, à exceção da mesma rua, que tem valores de 2,1°C a 2,9°C.

O potencial de ventilação é classificado de “moderado” a “muito reduzido” no Verão, e de “elevado” a “muito reduzido” no Inverno.

ii) No segundo grupo incluem-se as ruas que, pelas suas características geométricas, recebem pouca energia solar durante todo o ano. É o caso da rua do Heroísmo – que é estreita – e das ruas de Camões, de Serpa Pinto, 5 de Outubro, Avenida Rodrigues de Freitas, Pinto Bessa e Gondarém – ruas médias ou largas –, que possuem um edificado denso e alto, o que interfere substantivamente na chegada ao solo da radiação solar:

O *Sky View Factor* nestas ruas é médio a muito elevado, com valores entre 0,4 e 1,0, à exceção da rua de Camões, bastante heterogénea, com valores entre 0,2 e 1,0, da rua do Heroísmo, com valores muito elevados, de 0,8 a 1,0, e da rua 5 de Outubro, com valores compreendidos entre 0,4 e 0,8.

A capacidade de acumulação de radiação solar é muito diversa nas quatro estações do ano. No solstício de Verão, os valores estão entre os 1500 e os 6000 Wh/m² em grande parte da sua extensão. No solstício de Inverno, os valores variam entre 0 e 250 Wh/m² em grande parte da rua, fora alguns casos esporádicos em que andam no intervalo entre os 250 e 1500 Wh/m². Nos equinócios de Primavera e Outono, os valores médios oscilam entre os 250 e os 4000 Wh/m².

As horas de incidência solar direta nas quatro estações do ano. No solstício de Verão, recebem entre as 4 e as 14 horas de sol diárias em quase toda

a extensão das ruas. No solstício de Inverno, há vários pontos que atingem valores entre 0 e 10 horas de sol. Nos equinócios de Primavera e Outono, as vias recebem, na maior parte da sua extensão entre 6 e 12 horas de sol, com alguns pontos que ainda variam entre 0 e 6 horas de sol.

As anomalias térmicas mais prováveis no Inverno variam entre $-2,5^{\circ}\text{C}$ e 0°C com a exceção das ruas de Camões, de Serpa Pinto, 5 de Outubro e Gondarém, que têm valores entre $0,1^{\circ}\text{C}$ e $1,2^{\circ}\text{C}$. No Verão, são frequentemente entre $1,1^{\circ}\text{C}$ e $4,9^{\circ}\text{C}$ excetuando o caso da rua de Gondarém que, entre outros fatores, pela proximidade ao mar, tem anomalias com valores entre $0,5$ e $1,0^{\circ}\text{C}$, e da rua do Heroísmo, em que as anomalias são entre $2,1^{\circ}\text{C}$ e $2,9^{\circ}\text{C}$.

O potencial de ventilação é entre “moderado” a “muito reduzido” no Verão, com a exceção da rua de Gondarém, classificada com potencial “muito elevado”. No Inverno, é de “elevado” e “moderado”, à exceção das ruas de Serpa Pinto e 5 de Outubro, classificadas de “muito reduzido”.

De acordo com a **orientação**, individualizam-se dois grupos de ruas:

i) No primeiro grupo incluem-se as ruas que têm uma orientação N-S/NO-SE, como as ruas de Camões, Duque Saldanha, Serpa Pinto, 5 de Outubro, Pinto Bessa e Gondarém. No entanto, apesar da orientação, por influência de outros fatores geográficos e antrópicos existem, entre elas, sobrecargas térmicas muito variadas:

O *Sky View Factor* é, neste conjunto, médio a muito elevado, em pelo menos 50% da rua/troço de rua, com valores entre 0,4 e 1,0, à exceção da rua de Camões, que regista valores muito variados entre 0,2 e 1,0 e a rua 5 de Outubro, com valores compreendidos entre 0,4 e 0,8.

A capacidade de acumulação de radiação solar nas quatro estações do ano é consideravelmente diverso: No solstício de Verão, recebem entre os 1500 e os 6000 Wh/m² em grande parte da sua extensão. No solstício de Inverno, recebem valores mais baixos que podem variar entre 0 e 250 Wh/m² na maior parte das vias e na restante, entre 250 e 1500 Wh/m². Nos equinócios de Primavera e Outono, os valores médios não ultrapassam os 3500 Wh/m², à exceção da rua de Camões onde a amplitude chega aos 4000 Wh/m².

As horas de incidência solar direta nas quatro estações do ano é bastante diversa. No solstício de Verão, têm entre 6 e 14 horas de sol diárias, com alguns pontos entre as 4 e as 6 horas. No solstício de Inverno, há pontos destas vias que têm entre 0 e 8 horas de sol sobretudo junto às fachadas, à exceção da rua de Gondarém e de Camões onde se chega às 10 horas em alguns pontos. Nos equinócios de Primavera e Outono, compreende-se no intervalo de 2 a 12 horas de sol diárias.

As anomalias térmicas mais prováveis no Inverno variam entre $0,1^{\circ}\text{C}$ e $1,2^{\circ}\text{C}$, com a exceção das ruas Duque Saldanha e de Pinto Bessa, que têm valores

entre $-2,5^{\circ}\text{C}$ e $0,0^{\circ}\text{C}$. No Verão oscilam entre $1,1$ e $4,9^{\circ}\text{C}$, à exceção da rua de Gondarém, que tem anomalias de $0,5$ a $1,0^{\circ}\text{C}$.

O potencial de ventilação é de “moderado” a “muito reduzido” no Verão, à exceção da rua de Gondarém, onde é “muito elevado”. No Inverno, a ventilação é “elevada” e/ou “moderada”, à exceção da rua de Serpa Pinto e 5 de Outubro, onde é “muito reduzido”.

ii) No segundo grupo incluem-se as ruas que têm uma orientação E-W, como as ruas do Heroísmo, da Constituição, a Avenida Rodrigues de Freitas e a rua Damião de Góis:

O *Sky View Factor* é elevado a muito elevado em pelo grande parte da rua/troço de rua, com valores entre $0,4$ e $1,0$, com exceção da rua do Heroísmo, com valores muito elevados, de $0,8$ a $1,0$, e da rua da Constituição, com valores entre $0,6$ e $1,0$.

A capacidade de acumulação de radiação solar nas quatro estações do ano é muito diversa. No solstício de Verão, registam valores dos 3500 e aos 6000 Wh/m^2 em grande parte da sua extensão. No solstício de Inverno, sobretudo nas fachadas voltadas a sul recebem entre os 1000 e os 1500 Wh/m^2 , sendo que a restante parte das vias recebe entre 0 e 250 Wh/m^2 . Nos equinócios de Primavera e Outono, registam valores sobretudo no intervalo entre 250 e 4000 Wh/m^2 em grande parte das vias.

As horas de incidência solar direta nas quatro estações do ano são, em consequência, muito diferentes. No solstício de Verão, usufruem de 6 a 14 horas de sol diárias em quase toda a extensão das vias, com a exceção da rua Damião de Góis, que atinge as 16 h. No solstício de Inverno, pelo menos em algumas áreas junto às fachadas das vias recebem entre 0 e 2 horas de sol, embora existam na restante via valores mais elevados (entre 4 e 10 horas de sol). Nos equinócios de Primavera e Outono, uma grande parte das vias recebe entre 0 e 12 horas de sol.

As anomalias térmicas mais prováveis no Inverno variam entre $-2,5^{\circ}\text{C}$ e 0°C , com a exceção das ruas da Constituição e Damião de Góis, que registam valores entre $0,1^{\circ}\text{C}$ e $1,2^{\circ}\text{C}$. No Verão as anomalias são entre $2,1^{\circ}\text{C}$ e $2,9^{\circ}\text{C}$ para a rua do Heroísmo e Avenida Rodrigues de Freitas e entre $3,6^{\circ}\text{C}$ e $4,9^{\circ}\text{C}$ para as ruas da Constituição e Damião de Góis.

O potencial de ventilação é, nestas vias “reduzido” e “muito reduzido” no Verão, com a exceção da rua do Heroísmo, onde é “moderado”. No Inverno, a ventilação é “moderado” e “elevado”, à exceção da rua da Constituição, onde é “moderado” e “muito reduzido”.

De acordo com a **carga térmica antrópica e o metabolismo urbano**, individualizam-se dois grupos de ruas:

i) No primeiro grupo incluem-se a rua de Pinto Bessa, a rua da Constituição, a rua do Heroísmo, a rua 5 de Outubro, a Avenida Rodrigues de Freitas e a rua Damião

de Góis, a rua Serpa Pinto e a rua de Camões, que têm uma forte carga térmica antrópica. A vitalidade do metabolismo urbano nestas ruas vai acumular-se aos restantes fatores climáticos, para alterar o conforto bioclimático ao nível da rua:

O *Sky View Factor* é médio a muito elevado, rondando os 0,4 a 1,0, à exceção da rua 5 de Outubro, com valores compreendidos entre 0,4 e 0,8, da rua do Heroísmo, com valores muito elevados, de 0,8 a 1,0, da rua da Constituição, com valores entre 0,6 e 1,0, e da rua de Camões, que regista valores muito variados entre 0,2 e 1,0.

A capacidade de acumulação de radiação solar nas quatro estações do ano apresenta uma diversidade de contextos. No solstício de Verão, as ruas registam maioritariamente valores entre 3000 e 6000 Wh/m², à exceção das ruas de Pinto Bessa e de Camões, que ficam entre os valores entre 1500 e 6000 Wh/m². No solstício de Inverno, estas vias recebem entre 0 e 750 Wh/m², com a exceção de algumas áreas próximas das fachadas que recebem de 750 a 1500 Wh/m². Nos equinócios de Primavera e Outono, todas as vias recebem entre 1500 e 4000 Wh/m² em quase toda a sua extensão, embora em algumas áreas, pelas diversas especificidades, seja mais expressiva uma amplitude de valores superior, entre 250 e 4000 Wh/m².

As horas de incidência solar direta nas quatro estações do ano são muito variadas. No solstício de Verão, recebem entre 4 e 14 horas de sol diárias em quase toda a sua extensão. No solstício de Inverno, há pontos destas vias que não recebem radiação solar direta (0 a 2 horas de sol) mas na sua maioria têm entre 2 e 8 horas de sol por dia. Nos equinócios de Primavera e Outono, uma grande parte destas vias recebe entre 6 e 12 horas de sol, com alguns pequenos pontos, onde o sol incide entre 0 a 6h.

As anomalias térmicas mais prováveis no Inverno variam entre 0,1°C e 1,2°C com exceção das ruas do Heroísmo, de Pinto Bessa e Avenida de Rodrigues de Freitas, que têm valores entre -2,5°C e 0,0°C. No Verão, as anomalias térmicas variam entre 3,6°C e 4,9°C exceto as ruas do Heroísmo, de Pinto Bessa e Avenida de Rodrigues de Freitas, que registam valores entre 1,1°C e 2,9°C.

O potencial de ventilação no Verão é, consoante o troço de via, “moderado”, “reduzido” ou “muito reduzido”. No Inverno a ventilação é “elevada” ou “moderada”, exceto nas ruas de 5 de Outubro e Serpa Pinto, classificadas com “muito reduzido”, e da rua da Constituição, com “moderado” e “muito reduzido”.

ii) No segundo grupo incluem-se a rua que têm uma carga térmica antrópica e um metabolismo urbano menores, como as ruas de Gondarém e do Duque Saldanha:

O *Sky View Factor* é médio a muito elevado, rondando os 0,4 a 1,0.

Quanto à capacidade de acumulação de radiação solar nas quatro estações do ano estas vias são muito diversas. No solstício de Verão, recebem entre os 3000 e os 6000 Wh/m². No solstício de Inverno, os valores oscilam entre 0 e 250 Wh/m² em ambas as vias. A rua de Gondarém chega a atingir valores

até 1500 Wh/m² e a rua Duque Saldanha, atinge apenas os 750 Wh/m². Nos equinócios de Primavera e Outono, recebem entre os 1000 e os 3500 Wh/m².

As horas de incidência solar direta são muito diferentes nas quatro estações do ano. No solstício de Verão, recebem sobretudo entre as 4 e 12h, sendo que a rua de Gondarém chega estende-se até às 14 horas de sol diárias. No solstício de Inverno, recebem entre 0 e 10 horas de sol. Nos equinócios de Primavera e Outono, recebem entre 2 e 10 horas de sol diárias.

As anomalias térmicas mais prováveis no Inverno variam entre 0,9°C e 1,2°C na rua de Gondarém e de -2,5°C e 0,0°C na rua Duque Saldanha. No Verão, as anomalias variam entre 0,5°C e 1,0°C na rua de Gondarém, e de 2,1°C a 2,9°C na rua Duque Saldanha.

O potencial de ventilação é “muito elevado” no Verão, na rua de Gondarém, e de “moderado” e “muito reduzido” na rua Duque Saldanha. No Inverno, a ventilação é “moderada” na rua de Gondarém, e é “moderado” e “elevado” na rua Duque Saldanha.

Sky View Factor

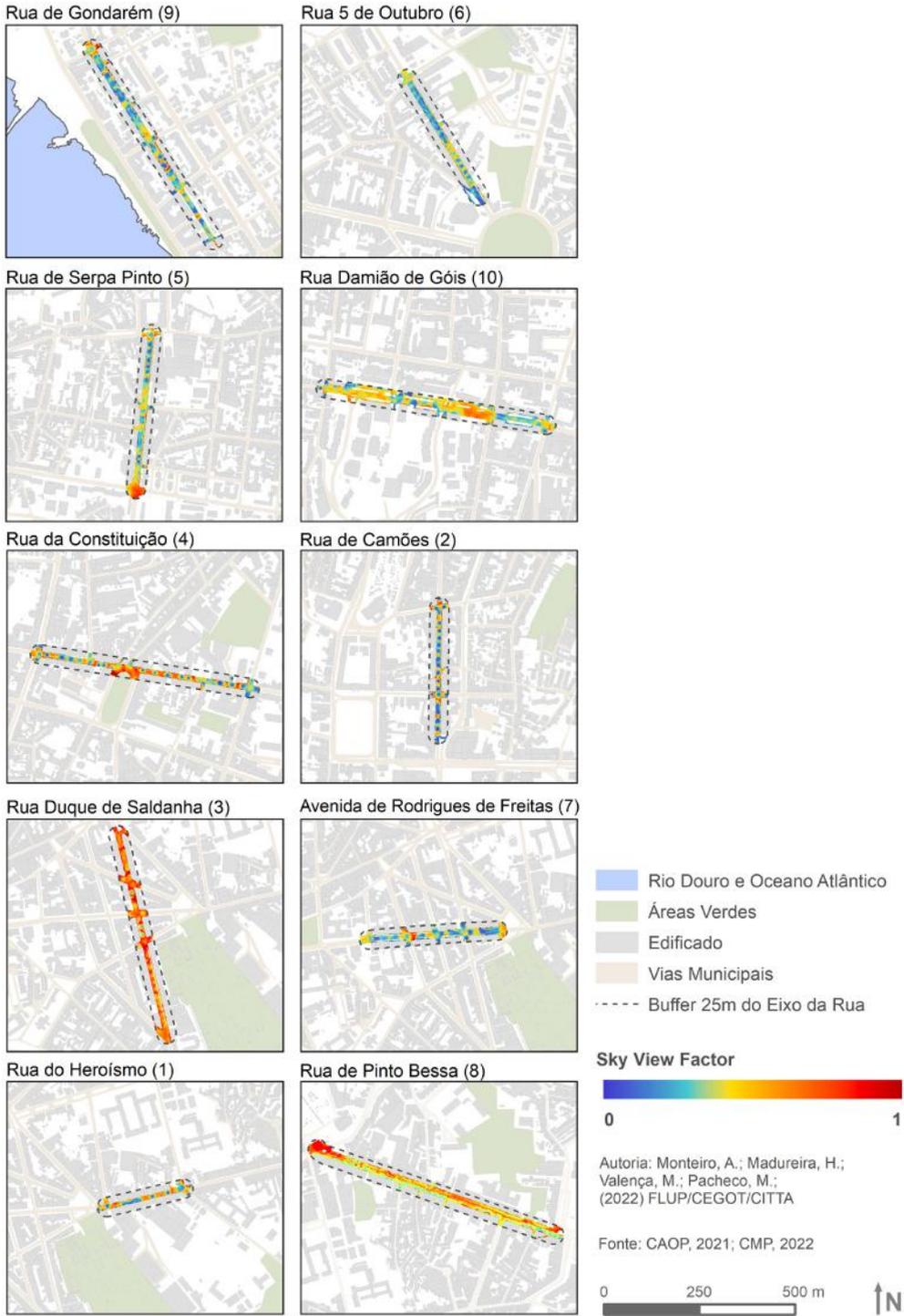


Figura 108 – Sky View Factor nas ruas-protótipo

Radiação solar no solstício de verão

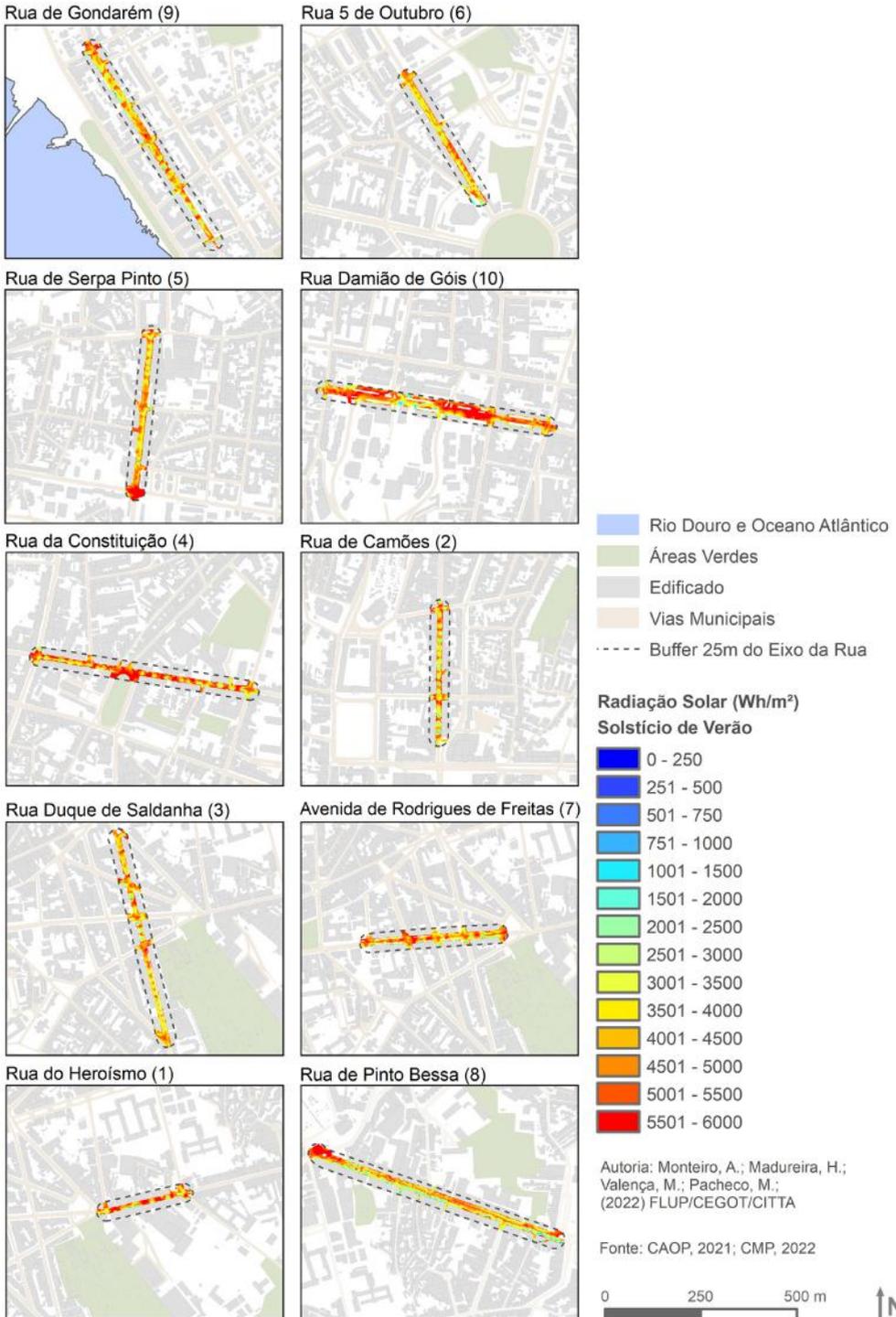


Figura 109 – Radiação solar no Solstício de Verão nas ruas-protótipo

Radiação solar no solstício de inverno

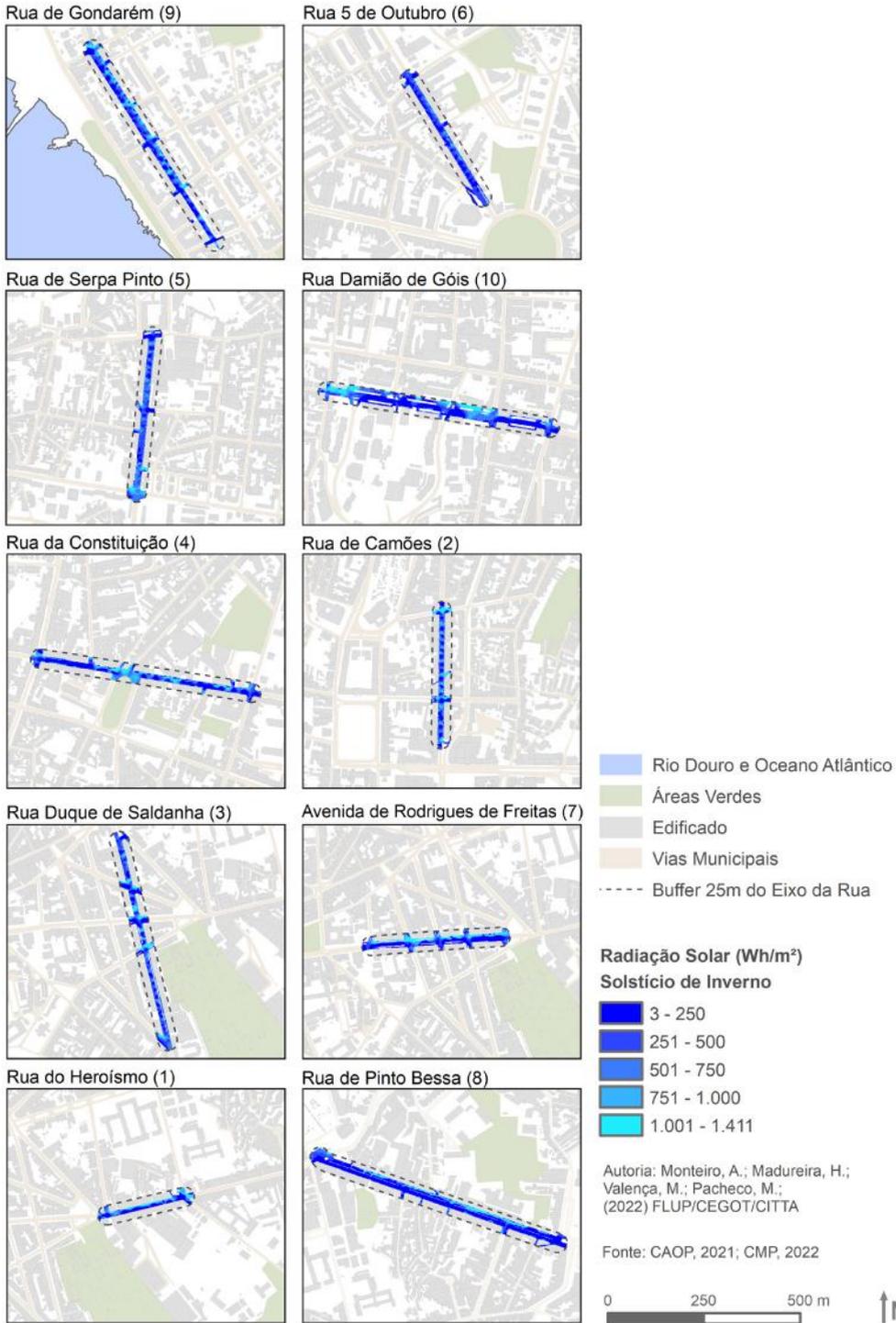


Figura 110 – Radiação solar no Solstício de Inverno nas ruas-protótipo

Radiação solar nos equinócios de primavera e outono



Figura 111 – Radiação solar nos Equinócios de Primavera e Outono nas ruas-protótipo

Número de horas de sol no solstício de verão

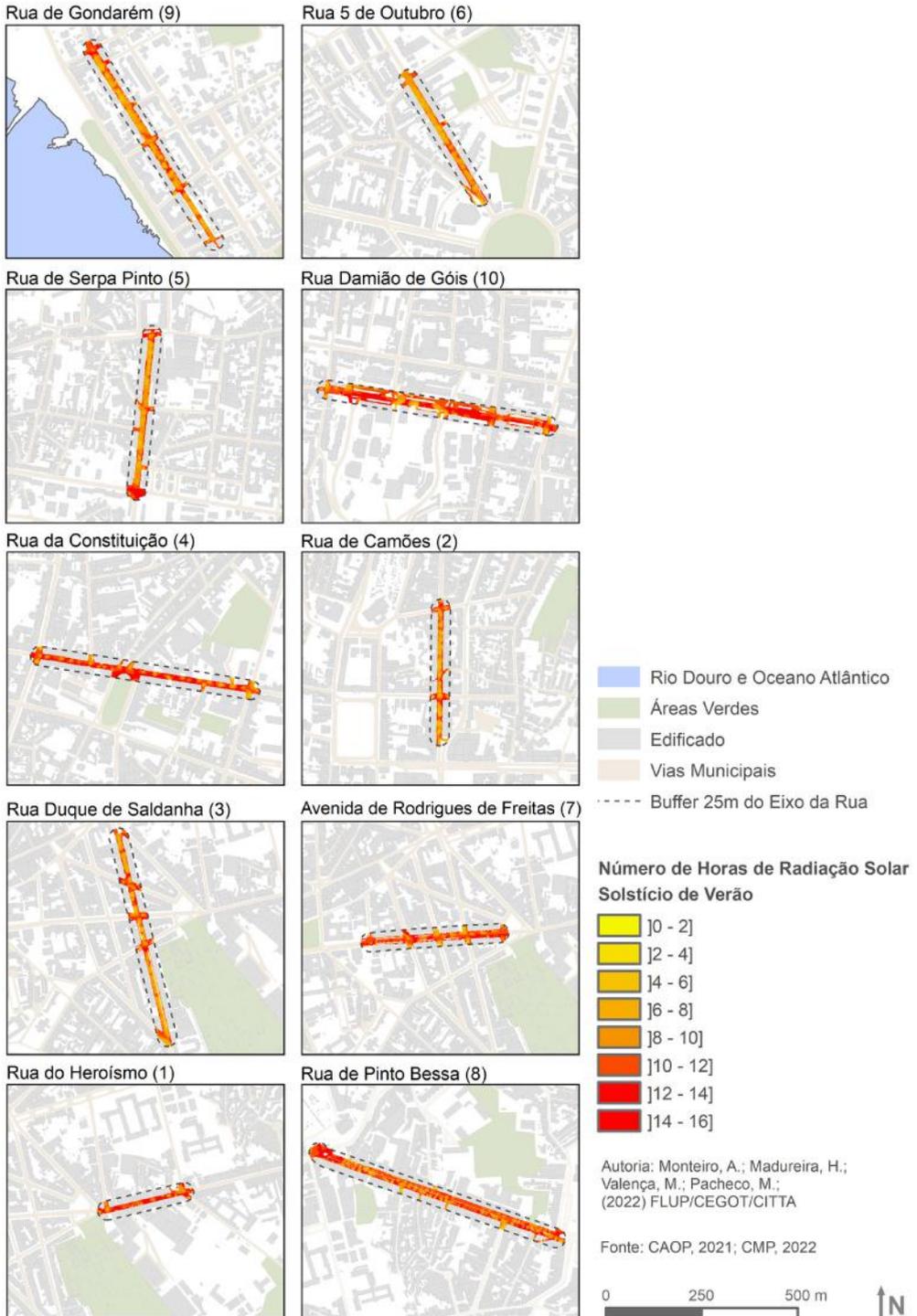


Figura 112 – Número de horas de sol no Solstício de Verão nas ruas-protótipo

Número de horas de sol no solstício de inverno



Figura 113 – Número de horas de sol no Solstício de Inverno nas ruas-protótipo

Número de horas de sol nos equinócios de primavera e outono

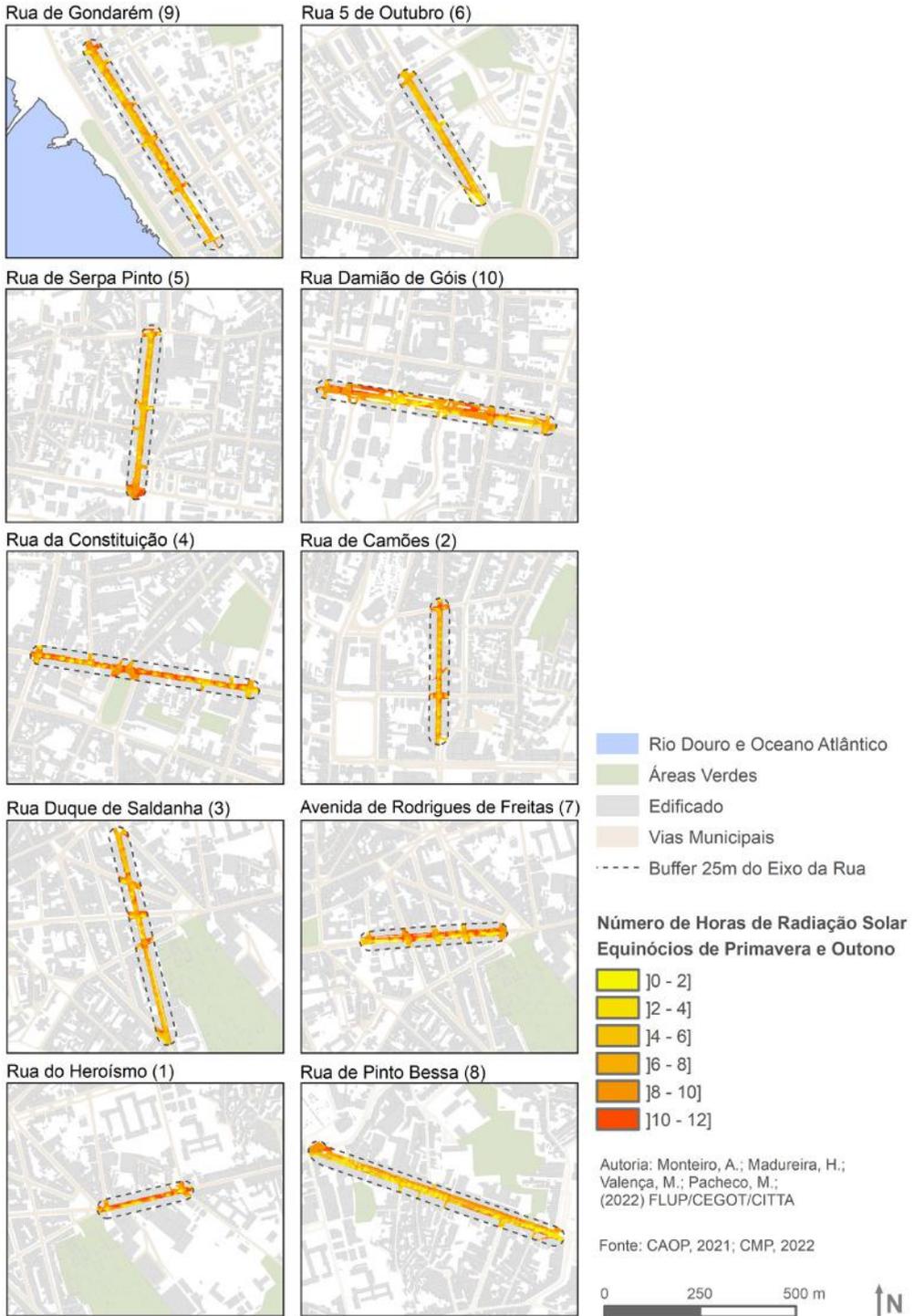


Figura 114 – Número de horas de sol nos Equinócios de Primavera e Outono nas ruas-protótipo

Anomalias térmicas muito prováveis no verão

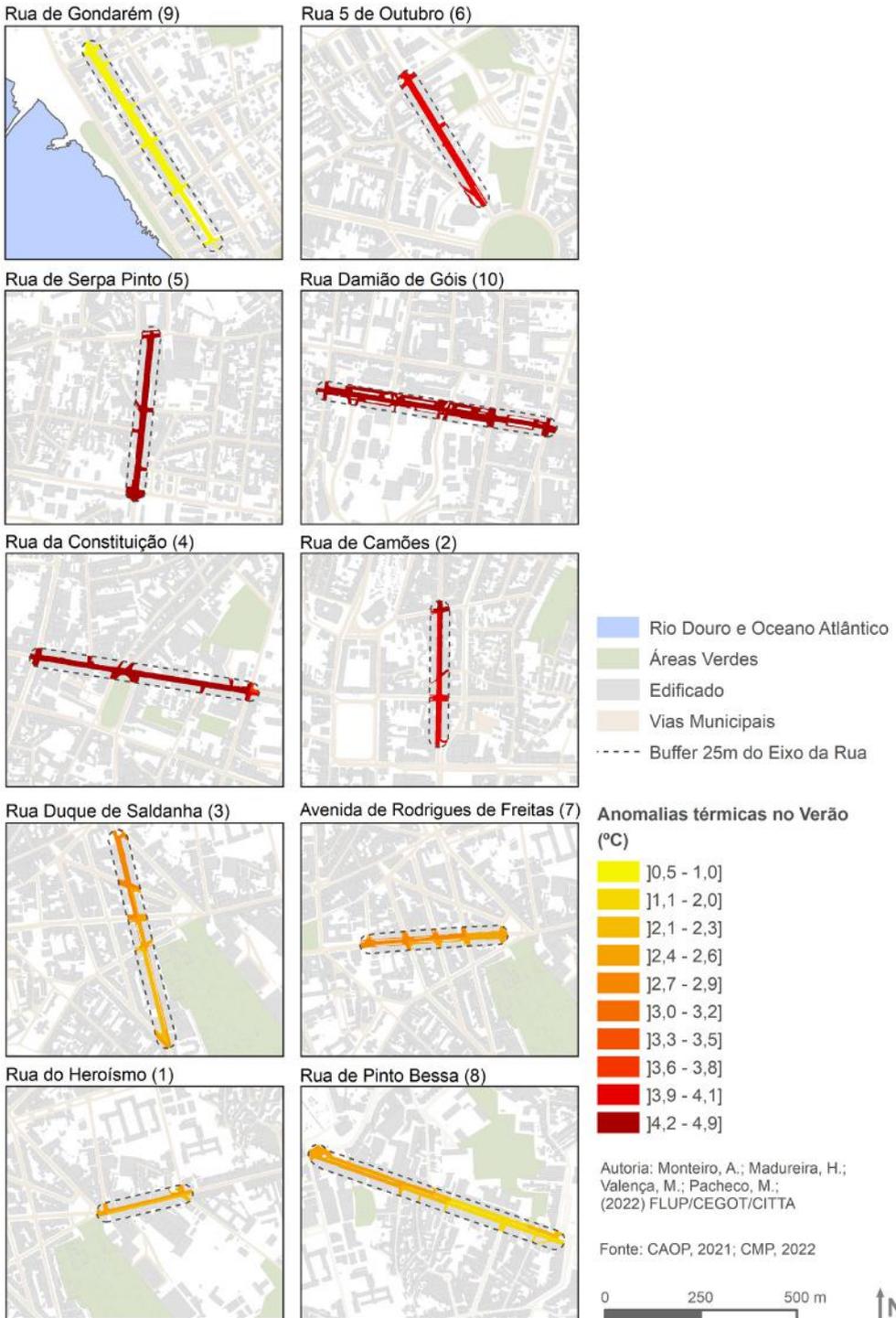


Figura 115 – Anomalias térmicas muito prováveis no Verão nas ruas-protótipo.
Adaptado de CMP (2018a)

Anomalias térmicas muito prováveis no inverno

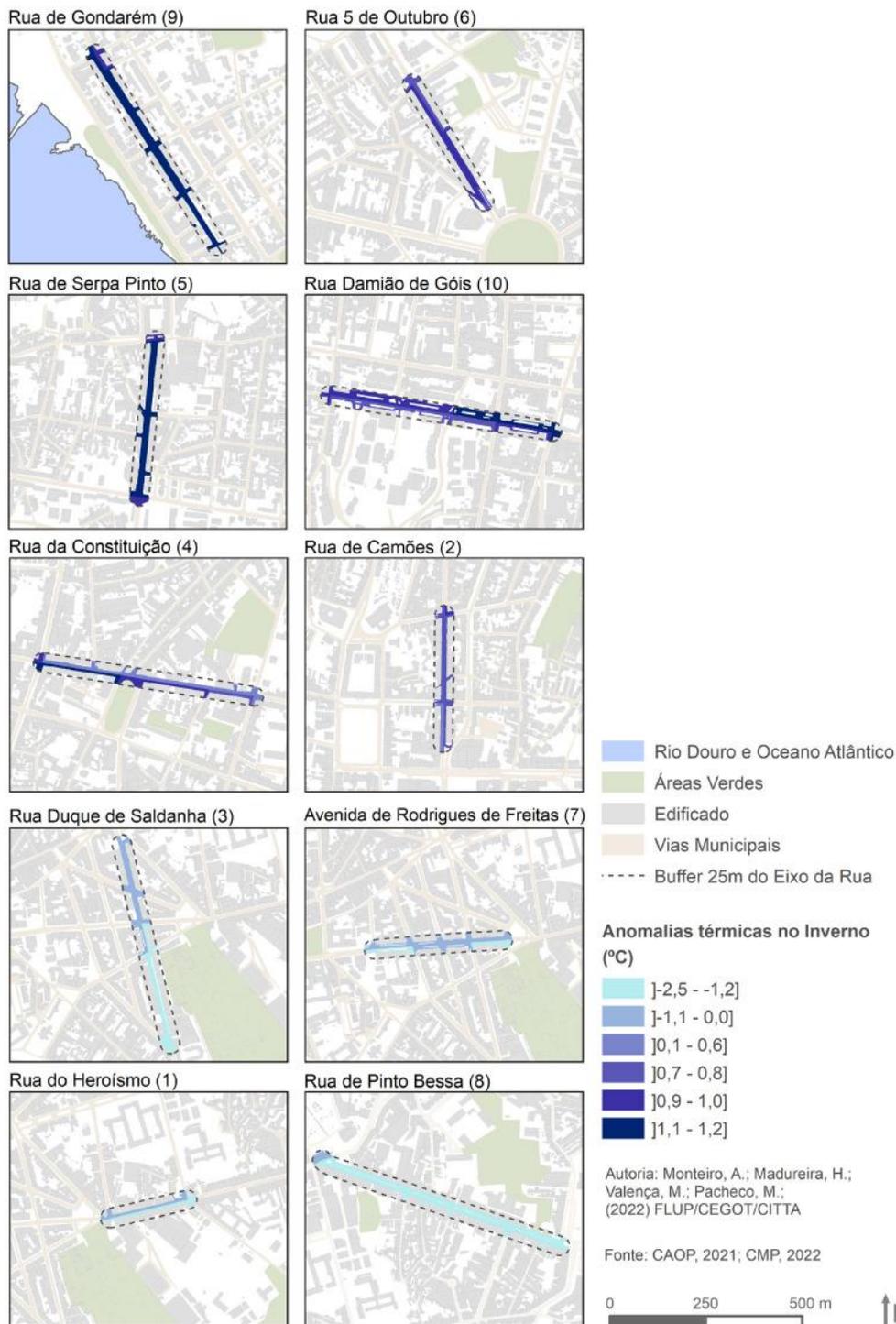


Figura 116 – Anomalias térmicas muito prováveis no Inverno nas ruas-protótipo.
Adaptado de CMP (2018a)

Potencial de ventilação no verão



Figura 117 – Potencial de ventilação no Verão nas ruas-protótipo

Potencial de ventilação no inverno



Figura 118 – Potencial de ventilação no Inverno nas ruas-protótipo

Benefícios potenciais da arborização nas 10 ruas-protótipo

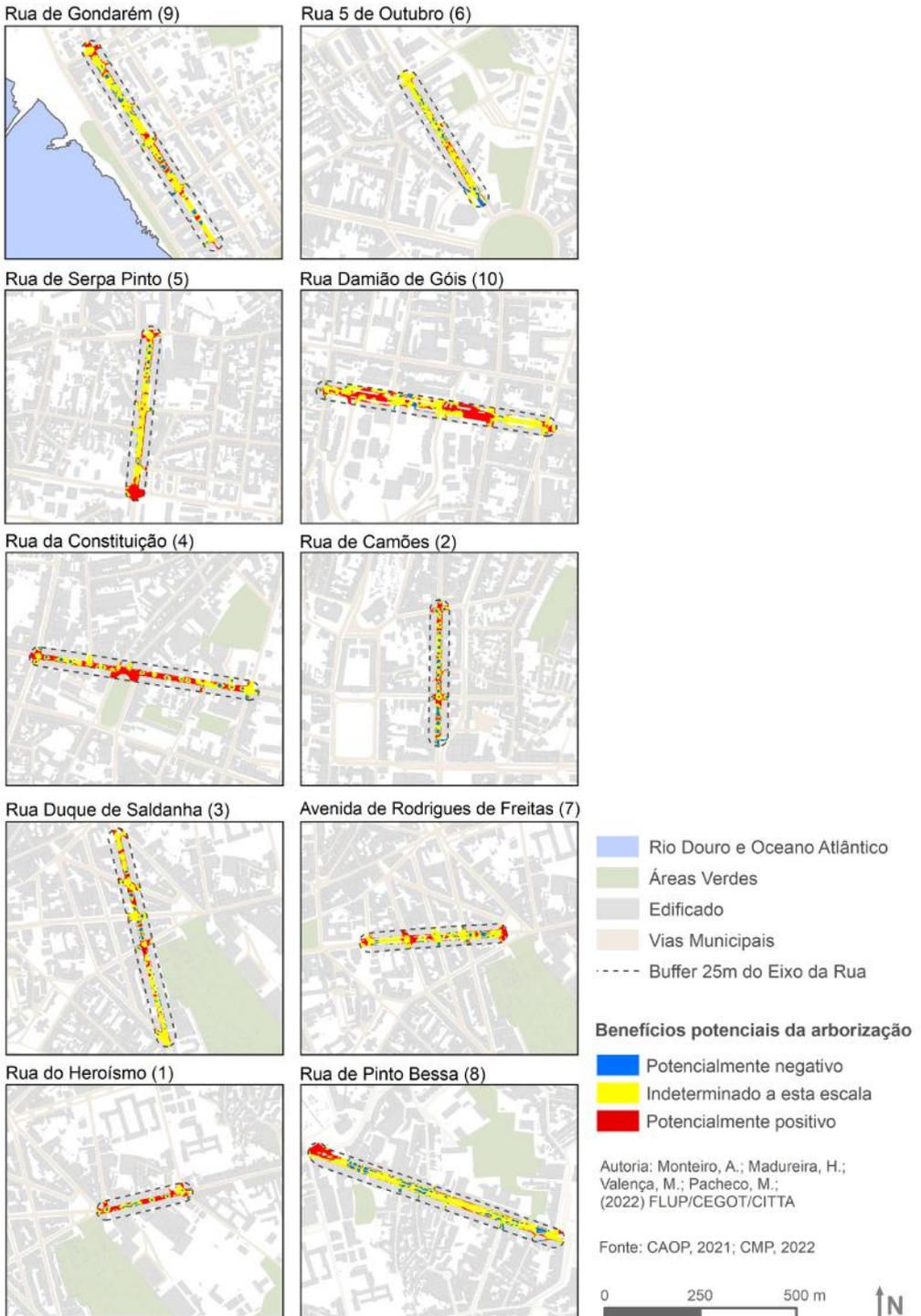


Figura 119 – Benefícios potenciais da arborização nas 10 ruas-protótipo

7.2.3. Validação do contexto bioclimático das 10 ruas-protótipo a partir de medições itinerantes

A análise sobre as características bioclimáticas dos *canopy layer* das dez ruas-protótipo selecionadas neste projeto carece de uma validação assente em trabalho de campo que o cronograma acordado com a Câmara Municipal do Porto não permitiu realizar com o detalhe e a extensão temporal que a complexidade da análise recomendaria.

Todavia, e tendo sempre em conta as circunstâncias – época do ano, especificidades climáticas do momento em que ocorre, duração temporal desta etapa, etc. – foi concebido um desenho experimental para a realização de campanhas de medições itinerantes de temperatura nas 10 ruas-protótipo. Assim, depois de uma fase prolongada, mas incontornável, de teste, foi selecionada, coligida e analisada a informação relativa à temperatura junto ao solo registada nestas 10 ruas-protótipo entre julho e outubro de 2022.

A análise dos resultados dos registos itinerantes de temperatura nas 10 ruas-protótipo (Figura 121 e Figura 123) confirmaram a multiplicidade de fatores que condicionam esta variável climatológica junto ao solo e que, frequentemente, retiram importância aos habitualmente mais mencionados fatores climáticos.

Em traços gerais tornou-se evidente que, dentro do conjunto de ruas analisado, a distância ao mar e ao rio ou a posição latitudinal deixam o seu sinal vincado no valor absoluto de temperatura, mostrando que as vias mais a leste e as mais a sul do Porto são as que, em média, evidenciam valores de temperatura mais elevados.

Porém, apesar da latitude, da altitude, da orientação ou da proximidade ao mar e ao rio deixarem marcas inequívocas na temperatura vivenciada junto ao solo, em contexto urbano, como é o caso do Porto, há um vasto leque de *confounders* de origem antrópica que ganham expressão e que têm de ser tidos em conta num projeto como este.

Assim, deste trabalho de teste e validação concluímos que pela concatenação de argumentos geográficos e antrópicos:

os registos mais baixos de temperatura ocorreram, em média, nas ruas de Gondarém, 5 de Outubro, Serpa Pinto e Duque de Saldanha;

os registos mais elevados de temperatura ocorreram, em média, na Avenida de Rodrigues de Freitas e nas ruas do Heroísmo e de Pinto Bessa (> 21°C);

os registos de temperatura nas ruas da Constituição e de Camões foram muito diversos, mas, em média, estiveram ligeiramente abaixo dos 21°C.

Quando procuramos analisar isoladamente cada uma das vias, observando o comportamento relativo da temperatura ao longo de todo o corredor (Figura 122 e Figura 124), verificamos um padrão muito semelhante no comportamento da temperatura marcado pela orientação ao qual se sobrepõe a patine introduzida pela morfologia urbana e pelo tipo, dimensão e densidade dos elementos naturais e artificiais presentes.

Figura 120 – Resultados das medições itinerantes de temperatura nas 10 ruas-protótipo¹

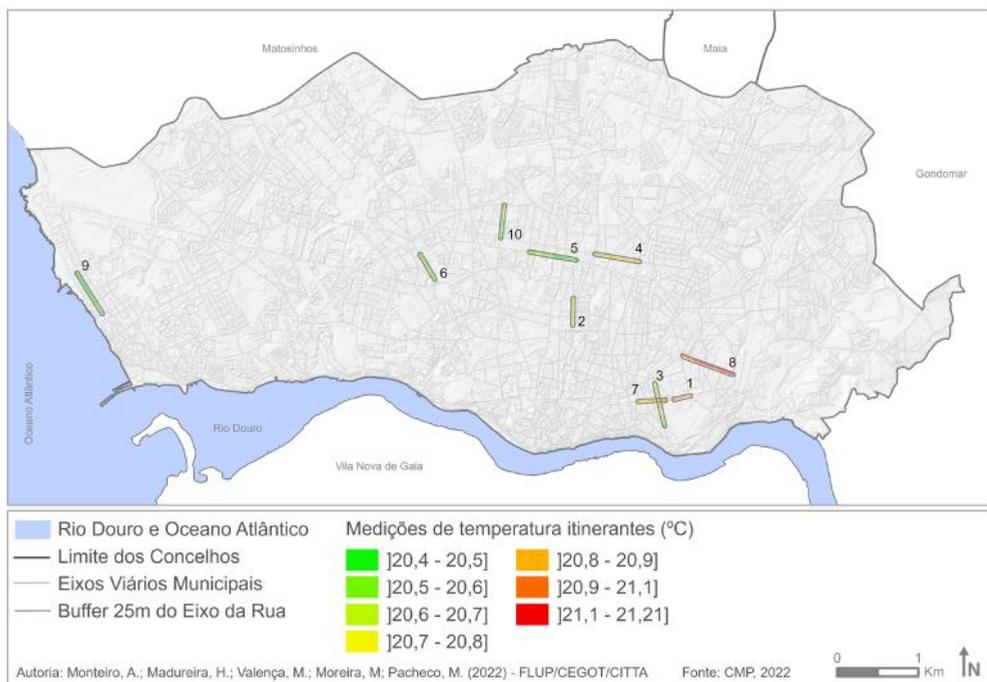
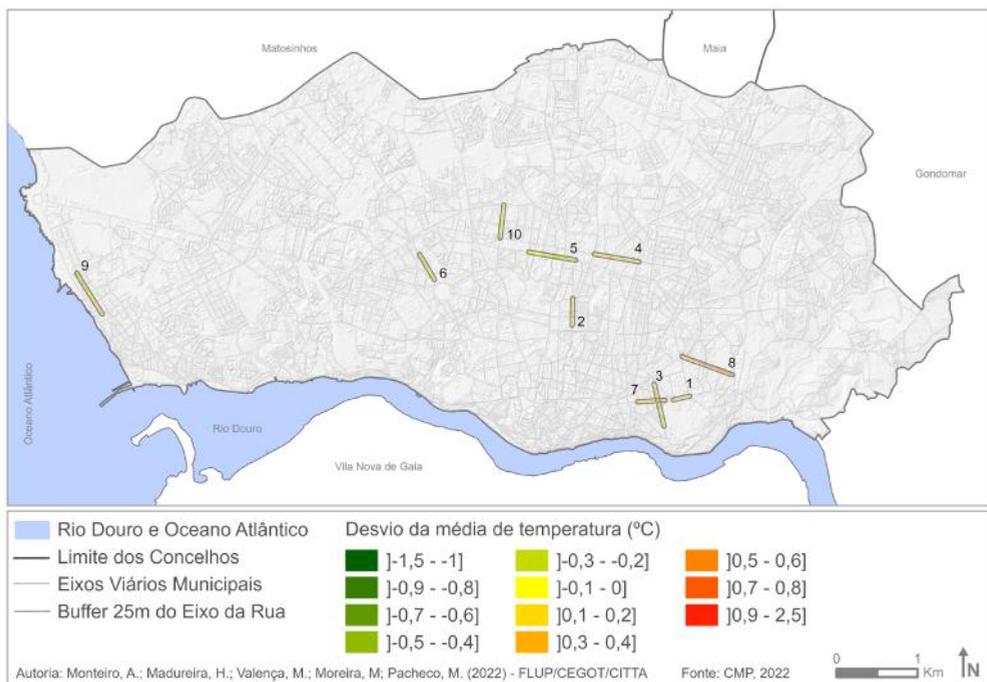


Figura 121 – Desvios médios da temperatura registada nas medições itinerantes¹.
Medições de temperatura itinerantes ao longo das 10 ruas-protótipo



¹Os valores apresentados correspondem à média dos valores registados de temperatura nas medições itinerantes elaboradas no período compreendido entre julho e outubro de 2022.

Potencial de ventilação no inverno



Figura 122 – Medições de temperatura itinerantes ao longo das 10 ruas-protótipo²

²Os valores apresentados correspondem à média dos valores registados de temperatura nas medições itinerantes elaboradas no período compreendido entre julho e outubro de 2022.

Benefícios potenciais da arborização nas 10 ruas-protótipo

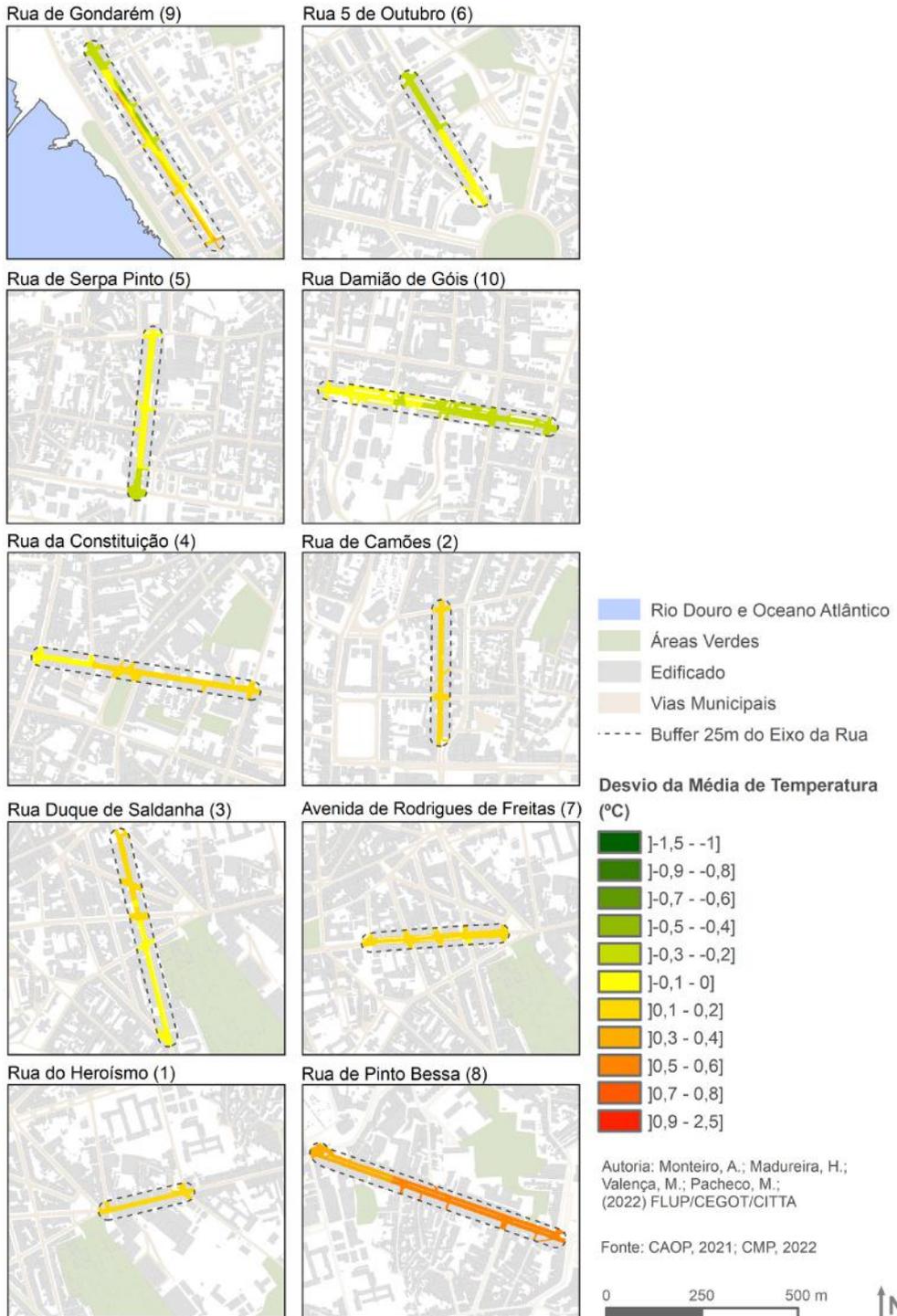


Figura 123 – Desvio da média de temperatura registada nas medições itinerantes de temperatura

7.2.4. Análise individual dos potenciais benefícios bioclimáticos da arborização das ruas-protótipo

Rua do Heroísmo

Caracterização:

Rua com orientação aproximada Este-Oeste.

Troço delimitado pelas ruas António Granjo e António Carneiro.

Rua estreita e não arborizada.

Diagnóstico:

Sky View Factor: apresenta valores muito elevados (0,8–1,0).

Radiação solar acumulada: a) no solstício de Verão, junto às fachadas voltadas a sul registam-se valores entre 5000 e 6000 Wh/m² e às fachadas voltadas a norte entre 3500 e 5000 Wh/m²; b) no solstício de Inverno, junto às fachadas voltadas a norte registam-se valores entre 0 e 250 Wh/m² e junto das fachadas voltadas a sul entre 1000 e 1500 Wh/m²; c) nos equinócios, junto das fachadas voltadas a norte registam-se valores de 250 a 500 Wh/m² e junto das fachadas voltadas a sul de 2000 a 4000 Wh/m².

Média de horas de incidência solar: a) no solstício de Verão, é predominantemente de 10 a 14h; b) no solstício de Inverno é de 0 2h junto das fachadas voltadas a norte e de 4 a 8h junto das fachadas voltadas a sul; c) nos equinócios, é de 0 a 6h junto às fachadas voltadas a norte e de 8 a 12h junto das fachadas voltadas a sul.

Anomalias térmicas muito prováveis: a) no Verão, junto das fachadas voltadas a sul registam-se valores entre 2,1°C a 2,3°C e junto às fachadas voltadas a norte, de 2,4°C a 2,6°C; b) no Inverno, junto das fachadas voltadas a sul registam-se valores de -1,1°C a 0°C e junto das fachadas voltadas a norte, de -2,5°C a -1,2°C.

Potencial de ventilação: a rua apresenta classificações de “moderado” no Verão e “elevado” no Inverno.

Medições itinerantes de temperatura: o desvio à temperatura média apresenta valores entre 0,1°C e 0,2 °C.

Benefícios potenciais da arborização: *potencialmente positivos* na maior parte da e *indeterminados* nalguns pontos centrais.

Recomendações:

Arborizar a via junto às fachadas voltadas a sul.

Não arborizar a via junto das fachadas voltadas a norte, exceto esporadicamente com caducifólias.

A arborização não interferirá negativamente na ventilação deste troço, principalmente se for apenas de um lado da rua.



Figura 124 – Análise individual dos potenciais bioclimáticos da arborização na Rua do Heroísmo

Rua de Camões

Caracterização:

Rua com orientação de Norte-Sul.

Troço delimitado pela rua Dr. Alfredo Magalhães e a rua do Paraíso.

Rua de largura média, atualmente não arborizada.

Diagnóstico:

Sky View Factor: apresenta valores heterogéneos (entre 0,2 e 1,0).

Radiação solar acumulada: a) no solstício de Verão, os valores oscilam maioritariamente no intervalo de 5500 a 6000 Wh/m² e nalguns pontos centrais intermitentes entre 2000 e 2500 Wh/m²; b) no solstício de Inverno, verifica-se uma grande amplitude de valores, contudo destaca-se o intervalo de 0 a 250 Wh/m²; c) nos equinócios, verifica-se também uma grande amplitude de valores, de 1500 a 4000 Wh/m².

Média de horas de incidência solar: a) no solstício de Verão, é de 10 a 14h junto das fachadas voltadas a oeste e de 4 a 10h na restante via; b) no solstício de Inverno, é de 8 a 10h junto das fachadas voltadas a oeste e de 0 a 8h junto das fachadas voltadas a este; c) nos equinócios, é de 8 a 12h junto das fachadas voltadas a oeste e de 2 a 8h na restante área da via.

Anomalias térmicas muito prováveis: a) no Verão registam-se valores de 3,9°C a 4,9°C; b) no Inverno, registam-se valores compreendidos entre 0,1°C e 1,0°C.

Potencial de ventilação: a rua apresenta classificações de “muito reduzido” no Verão e “moderado” no Inverno.

Medições itinerantes de temperatura: o desvio à temperatura média apresenta valores entre 0,1°C e 0,2 °C.

Benefícios potenciais da arborização: Comportamento dispar, sendo *potencialmente negativos* no centro da via, *potencialmente positivos* nos cruzamentos e junto às fachadas voltadas a oeste e *indeterminados* na restante parte da via.

Recomendações:

Arborizar a via junto às fachadas voltadas a oeste, com árvores de copa mais reduzida, para não condicionar a circulação do ar.

Não arborizar a via junto às fachadas voltadas a este, exceto esporadicamente com caducifólias.

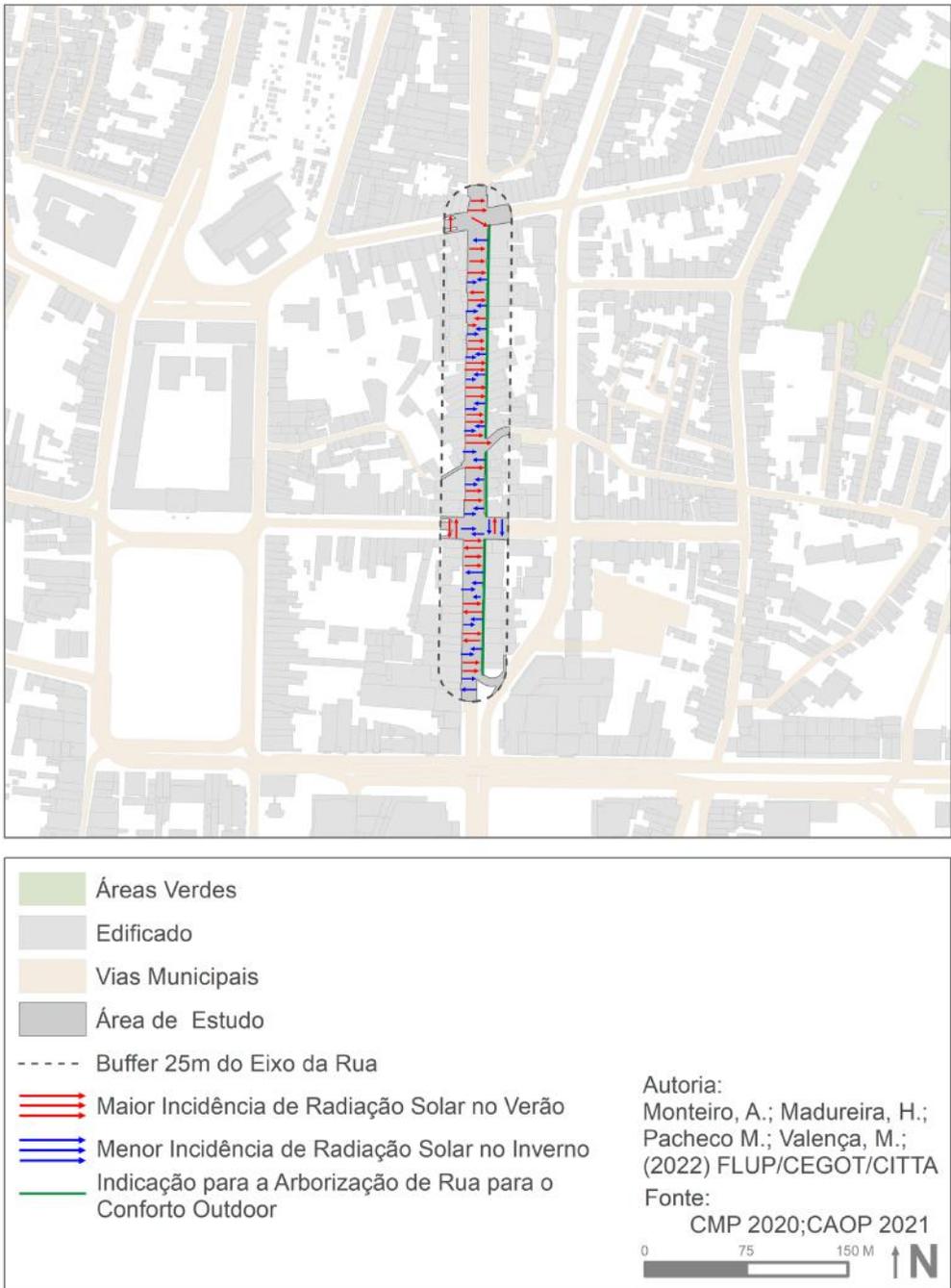


Figura 125 – Análise individual dos potenciais bioclimáticos da arborização na Rua de Camões

Avenida de Rodrigues de Freitas

Caracterização:

Rua larga com orientação predominante de Este-Oeste.

Rua delimitada pela rua do Visconde de Bóveda e o Largo de Soares dos Reis.

Este troço já é arborizado em toda a sua extensão.

Diagnóstico:

Sky View Factor: apresenta valores médios muito elevados (0,4-1,0).

Radiação solar acumulada: a) no solstício de verão, registam-se valores sobretudo no intervalo dos 3500 aos 6000 Wh/m²; b) no solstício de Inverno, as fachadas voltadas a sul registam valores de 1000 a 1500 Wh/m² e junto das fachadas voltadas a norte, de 0 a 250 Wh/m². c) nos equinócios, junto das fachadas voltadas a sul registam-se valores de 2000 a 4000 Wh/m² e próximo das fachadas a norte, de 250 a 1500 Wh/m².

Média de horas de incidência solar: a) no solstício de Verão, é de 8 a 12h junto às fachadas voltadas a sul e de 10 a 14h junto das fachadas voltadas a norte; b) no solstício de Inverno é de 4 a 10h junto das fachadas voltadas a sul e de 0 a 2h junto das fachadas voltadas a norte; c) nos equinócios, é de 8 a 12h junto das fachadas voltadas a sul e de 0 e 6h junto das fachadas voltadas a norte.

Anomalias térmicas muito prováveis: a) no Verão, registam-se valores de 2,4°C a 2,9°C; b) no Inverno, a anomalia está entre os -1,1°C e 0,0°C, com exceção de dois segmentos nos extremos da rua com valores de -2,5°C a 1,2°C.

Potencial de ventilação: a rua apresenta classificações de “moderado” e “muito reduzido” no Verão e “elevado” e “moderado” no Inverno.

Medições itinerantes de temperatura: o desvio à temperatura média apresenta valores entre 0,1°C e 0,2 °C.

Benefícios potenciais da arborização: *indeterminados* na maior parte da rua e *potencialmente positivos* nalgumas manchas.

Recomendações:

Arborizar a via junto às fachadas voltadas a sul.

Arborizar a via no seu eixo central.

Não arborizar a via junto às fachadas voltadas a norte, exceto esporadicamente com caducifólias.



Figura 126 – Análise individual dos potenciais bioclimáticos da arborização na Avenida de Rodrigues de Freitas

Rua de Pinto Bessa

Caracterização:

Rua larga com orientação predominante de Noroeste-Sudeste.

Eixo estruturante pela ligação entre o Bonfim e a Estação Ferroviária de Campanhã.

Rua não arborizada.

Diagnóstico:

Sky View Factor: apresenta valores médios a muito elevados (0,4-1,0).

Radiação solar acumulada: a) no solstício de Verão, os valores são maiores perto do Bonfim (5000 e 6000 Wh/m²) e junto das fachadas voltadas a sudoeste (3500 a 5000 Wh/m²); b) no solstício de Inverno, os valores são maiores junto das fachadas voltadas a sudoeste (1000 a 1500 Wh/m²) do que junto das voltadas a nordeste (0 a 250 Wh/m²); c) nos equinócios, os valores são maiores junto das fachadas voltadas a sudoeste (2000 a 3500 Wh/m²) do que junto das voltadas a nordeste (250 a 1000 Wh/m²).

Média das horas de incidência solar: a) no solstício de Verão, é mais elevada perto do Bonfim (10 a 14h), junto das fachadas voltadas a sudoeste (8h a 12h) e junto das fachadas voltadas a nordeste (6 a 14h); b) no solstício de Inverno, é de 2 a 8h junto das fachadas voltadas a sudoeste e de 0 a 2h nas restantes áreas da rua; c) nos equinócios, é de 6 a 10h junto das fachadas voltadas a sudoeste e de 0 a 6h junto das fachadas voltadas a nordeste.

Anomalias térmicas muito prováveis: a) no Verão, apresenta valores de 2,4°C a 2,6°C na área a noroeste, de 2,1°C a 2,3°C na parte média da rua e na área mais a oeste e de 1,1°C a 2,0°C, próximo de Estação de Campanhã; b) no Inverno, regista a anomalia de -2,5°C a -1,1°C.

Potencial de ventilação: a rua apresenta classificações de “moderado” no Verão e “elevado” no Inverno.

Medições itinerantes de temperatura: o desvio à temperatura média média apresenta valores entre 0,3°C e 0,6°C.

Benefícios potenciais da arborização: *indeterminados* na maior parte da rua.

Recomendações:

Arborizar a via no seu eixo central.

Não arborizar a via junto às fachadas.

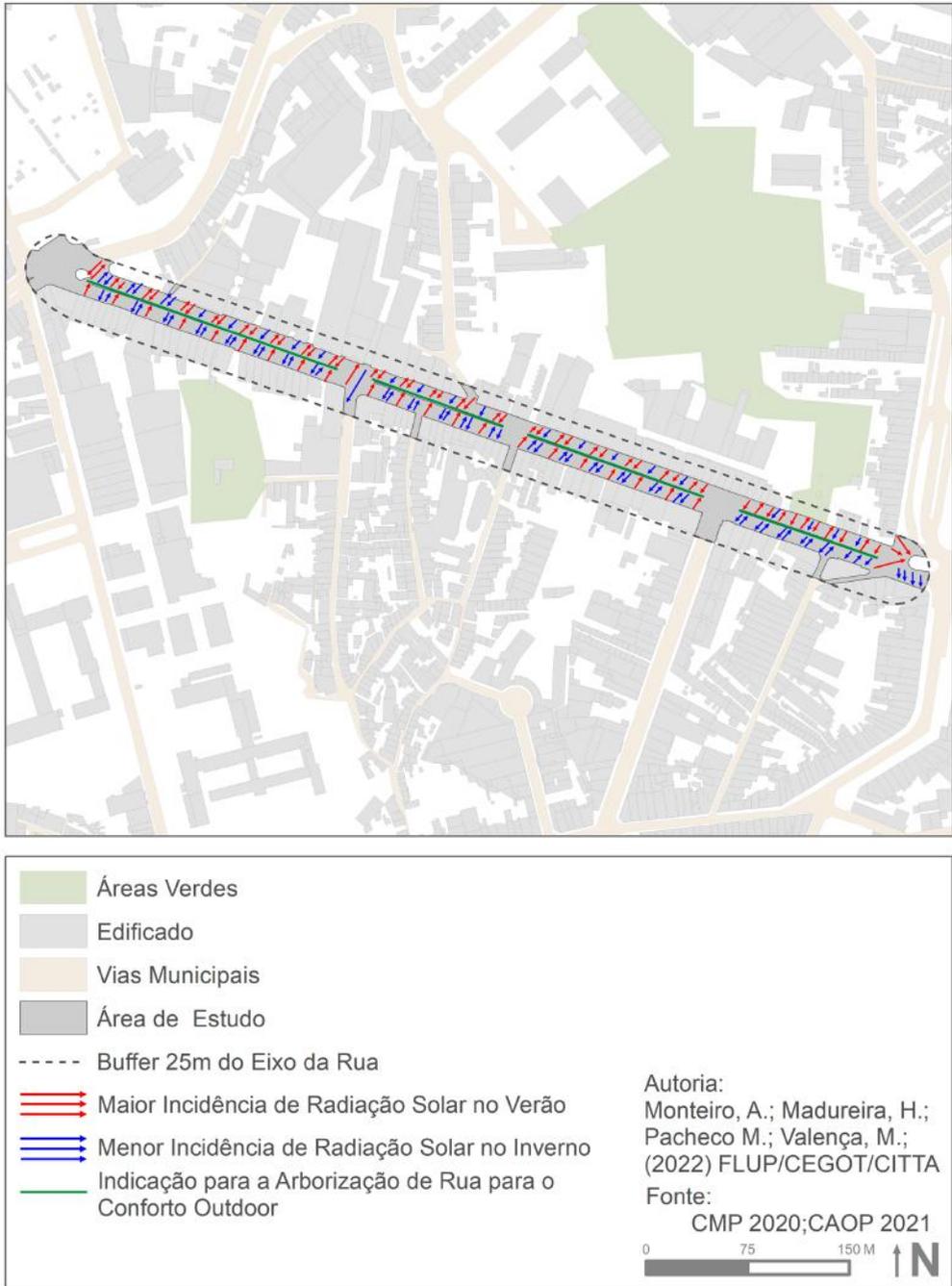


Figura 127 – Análise individual dos potenciais bioclimáticos da arborização na Rua de Pinto Bessa

Rua de Gondarém

Caracterização:

Rua larga com orientação Noroeste-Sudeste.

Troço Delimitado pela Rua da Agra e a Rua do Molhe.

Esta via já se encontra arborizada.

Diagnóstico:

Sky View Factor: apresenta valores médios a muito elevados (0,4-1,0).

Radiação solar acumulada: a) no solstício de Verão, registam-se valores maioritariamente entre 4000 e 5500 Wh/m², mas que nos cruzamentos podem chegar a 6000wh/m²; b) no solstício de Inverno, as fachadas voltadas a sudoeste registam valores de 250 a 1500 Wh/m² e junto das fachadas voltadas a nordeste, de 0 a 250 Wh/m²; c) nos equinócios, na proximidade das fachadas voltadas a sudoeste registam-se valores de 2500 a 3500 Wh/m² e, junto das fachadas voltadas a nordeste, de 1000 a 1500 Wh/m².

Média de horas de incidência solar: a) no solstício de Verão, é de 10 a 14h junto das fachadas voltadas a sudoeste, e de 6 a 10h junto das fachadas voltadas a nordeste; b) no solstício de Inverno, é de 4 a 10h junto das fachadas voltadas a sudoeste e de 0 a 4h junto das fachadas voltadas a nordeste; c) nos equinócios, é de 6 a 10h junto das fachadas voltadas a sudoeste e de 2 a 6h junto das fachadas voltadas a nordeste.

Anomalias térmicas muito prováveis: a) no Verão, regista uma anomalia positiva de 0,5°C a 1,0°C; b) no Inverno, registam-se valores compreendidos entre 0,9°C e 1,2°C.

Potencial de ventilação da rua: a rua apresenta classificações de “muito elevado” no Verão e “moderado” no Inverno.

Medições itinerantes de temperatura: o desvio à temperatura média apresenta valores díspares, entre -0,7°C e 0,6°C.

Benefícios potenciais da da arborização: *indeterminados* na maior parte da rua.

Recomendações:

Arborizar a via junto das fachadas voltadas a sudoeste.

Não arborizar a via junto das fachadas voltadas a nordeste, exceto esporadicamente com caducifólias.



Figura 128 – Análise individual dos potenciais bioclimáticos da arborização na Rua de Gondarém

Rua de Damião de Góis

Caracterização:

Rua larga de orientação predominante Este-Oeste.

Troço delimitado pela rua do Monte Cativo e a rua de São Brás.

Parcialmente arborizada no eixo central.

Diagnóstico:

Sky View Factor: apresenta valores médios a muito elevados (0,4-1,0).

Radiação solar acumulada: a) no solstício de Verão, junto das fachadas voltadas a sul registam-se valores médios de 5000 a 6000 Wh/m²; b) no solstício de Inverno, junto das fachadas voltadas a sul registam-se valores de 1000 a 1500 Wh/m² e junto das fachadas voltadas a norte, de 0 a 250 Wh/m²; c) nos equinócios, junto das fachadas voltadas a sul registam-se valores de 2500 a 3500 Wh/m² e junto das fachadas voltadas a norte de 500 a 1500 Wh/m².

Média de horas de incidência solar: a) no solstício de Verão, é de 10 a 16h nas fachadas voltadas a sul e de 8 a 12h junto das fachadas voltadas a norte; b) no solstício de Inverno, é de 2 a 8h junto das fachadas voltadas a sul e de 0 a 2h junto das fachadas voltadas a norte; c) nos equinócios, é de 8 a 12h junto das fachadas voltadas a sul e de 0 a 4h junto das fachadas voltadas a norte.

Anomalias térmicas muito prováveis: a) no Verão, regista uma anomalia de 4,2°C a 4,9°C; b) no Inverno, apresenta uma anomalia de 0,7°C a 1,2°C na área mais a Este e de 0,1°C a 1,0°C na área mais a Oeste.

Potencial de ventilação: a rua apresenta classificações de “muito reduzido” no Verão e “moderado” no Inverno.

Medições itinerantes da temperatura: o desvio à temperatura média apresenta valores entre -0,3°C e 0,0°C.

Benefícios potenciais da arborização: *indeterminados* na maior parte da rua e *potencialmente positivos* nalgumas manchas.

Recomendações:

Conservar a arborização já existente nas bolsas de estacionamento da via.

Arborizar a via junto das fachadas voltadas a sul.

Não arborizar a via junto das fachadas voltadas a norte.

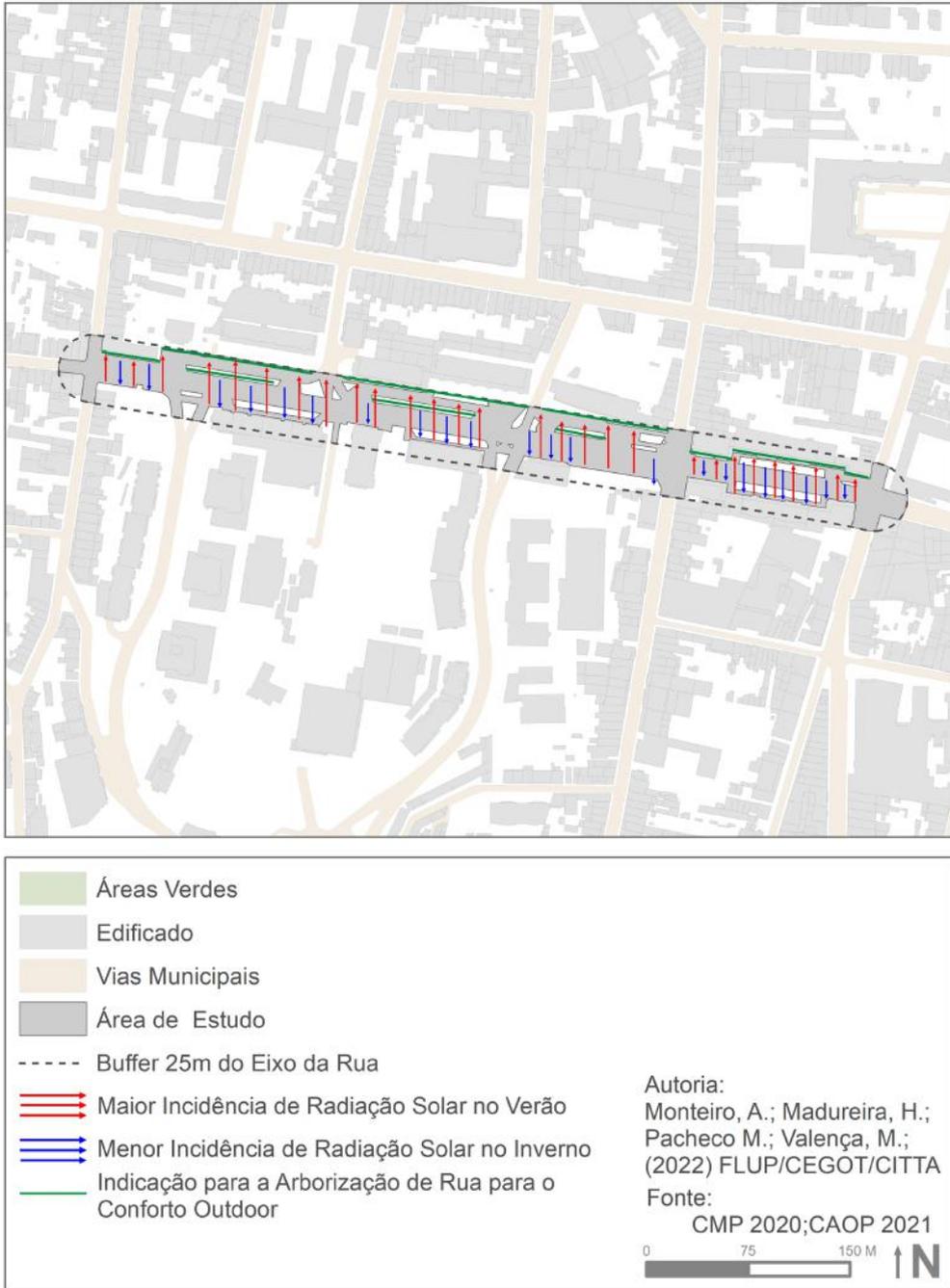


Figura 129 – Análise individual dos potenciais bioclimáticos da arborização na Rua de Damião de Góis

7.3. Demonstração dos protótipos de intervenção

Uma **rua** constitui um **espaço-canal multifuncional**, apresentando múltiplas exigências ao nível dos fluxos de pessoas e veículos, especialmente em termos do espaço disponível para acomodar corredores de circulação de diferentes naturezas e das condições de segurança e conforto que deve oferecer aos seus utilizadores. Deste modo, o desenho e intervenção neste tipo de espaço público deve garantir uma articulação eficiente entre os espaços e elementos associados às diferentes funções, minimizando também os possíveis conflitos. Tendo isto em consideração, torna-se óbvio que o principal fator limitante a essa boa articulação é a largura da rua, que irá influenciar o espaço disponível para cada função.

Em primeiro lugar, devem ser garantidos os **fluxos essenciais**, que incluem a **circulação pedonal** e a **circulação de veículos de emergência e resgate**. Para isto, devem ser incluídos, pelo menos, dois corredores para a circulação pedonal junto aos limites laterais da rua (um de cada lado), que permitam simultaneamente o percurso longitudinal e o acesso direto aos edifícios e propriedades confinantes; estes corredores devem ser acessíveis para pessoas com mobilidade reduzida e cumprir as dimensões regulamentadas (largura mínima de 2,40m; CMP, 2020b). De igual modo, deve ser também mantido, pelo menos, um corredor para a passagem e operação de veículos de emergência de grandes dimensões, com um mínimo de 6m de largura e 4m de altura, e que não deve distar mais de 10m do edificado/limite da rua (Portaria n.º 135/2020).

A presença de árvores na rua é importante, devido aos inúmeros benefícios que providenciam aos territórios urbanos, também designados como serviços de ecossistema (Dwyer et al., 1992; Tyrväinen et al., 2005; Nowak & Dwyer, 2007; Roy et al., 2012):

Diminuem o efeito de “ilha de calor” e aumentam o conforto bioclimático para os utilizadores da rua, devido à sombra que providenciam e vapor de água que libertam;

Contribuem também para uma melhor climatização do edificado envolvente, especialmente ao providenciar sombra nos meses mais quentes, conduzindo assim a uma poupança de energia;

Melhoram a qualidade do ar, ao emitir oxigénio, absorver gases poluentes e filtrar e fixar partículas em suspensão;

Reduzem o escoamento superficial ao interceptarem a precipitação e facilitando a infiltração de água no solo, reduzindo assim a ocorrência de inundações;

Funcionam como barreiras contra a poluição sonora, ao absorver e dispersar o som;

Inibem a velocidade do tráfego automóvel e podem funcionar como proteção de acidentes entre veículos em sentidos inversos ou entre veículos e peões;

Estimulam a utilização de modos suaves de deslocação e de transportes coletivos, ao melhorarem as condições ambientais e de segurança da rua, contribuindo positivamente para a redução da poluição e do sedentarismo;

Promovem o comércio local e valorizam os bens imobiliários na proximidade;

Oferecem uma experiência estética e sensorial rica, contrastando com a envolvente construída, contribuindo para a redução do *stress* e melhoria da saúde e bem-estar;

Permitem a presença e diversificação de flora, fauna e habitats em contextos altamente artificializados, sendo que o aumento da biodiversidade, a várias escalas, potencia grande parte dos benefícios listados anteriormente.

Diversos estudos fizeram já a quantificação destes benefícios em termos monetários, revelando que são bastante mais elevados do que possíveis custos de manutenção ou de danos causados pelas árvores (Tyrväinen et al., 2005; Soares et al., 2011; Song et al., 2018). De qualquer modo, para que a relação entre custos e benefícios apresentada pela árvore de arruamento seja plenamente vantajosa, o Plano de Arborização advoga, desde o seu início, que a existência da árvore na rua atente ao espaço disponível para o desenvolvimento da sua componente aérea (copa) e componente subterrânea (raízes).

Para que as árvores possam marcar presença nas ruas e desempenhar de forma satisfatória os vários serviços de ecossistema, minimizando também os custos de manutenção, é necessário garantir espaço para que estas possam desejavelmente desenvolver-se em regime de crescimento livre num período de, pelo menos, 20–30 anos (o que corresponde a uma jovem maturidade na maioria das espécies), com o mínimo de intervenção ou manutenção possível. Ainda assim, mesmo que se preveja um mínimo de ações de manutenção é necessário proceder a regulares vistorias fitossanitárias e avaliações de risco da arborização. As árvores de arruamento, devido à proximidade a canais de circulação de peões e veículos, devem ser sujeitas a uma gestão cuidada e regular, de forma a detetar problemas fitossanitários e prevenir possíveis conflitos e/ ou danos (Pokorny, 1992; Ellison, 2007; Roston-Szeryńska, 2019).

Por este motivo, é especialmente importante a articulação entre a exigência de espaço para os fluxos essenciais e a exigência de espaço para o desenvolvimento da arborização, tendo em conta a dimensão largura da rua; isto significa que, sem exceção, a **arborização** só deve surgir em arruamentos quando a sua presença ou localização **não comprometa os fluxos essenciais** acima mencionados. Como já foi explicado anteriormente (subcapítulo 5.3.1), as ruas muito estreitas (largura inferior a 10 metros) foram consideradas como **não arborizáveis**, por não permitirem a coexistência da árvore com os fluxos essenciais, sem gerarem uma elevada probabilidade de conflito.

Para as **ruas arborizáveis** (com largura superior a 10m), a sua arborização deve considerar uma articulação cuidada entre a largura da rua, a largura da árvore e o seu posicionamento. Após a garantia de espaço para os fluxos essenciais, recomenda-se a utilização da **maior árvore possível** para a dimensão da rua, de modo a maximizar os serviços do ecossistema. Para minimizar a probabilidade de conflitos com as fachadas do edificado ou com os limites das propriedades adjacentes, e consequentemente reduzir a necessidade de intervenções/podas, propõe-se um **afastamento estimado de 1m** (ou mais) entre a largura expectável da copa ao fim de 20–30 anos e o limite lateral da rua, de modo a garantir alguma margem de segurança tendo sempre em conta a incerteza associada ao crescimento de seres vivos como as árvores. Este afastamento é um valor mínimo, o qual poderá, desejavelmente, ser aumentado sempre que a largura da rua o permita. Este valor é um valor estimado que, dependendo da espécie, poderá exigir a médio-longo prazo alguma manutenção da parte aérea das árvores para garantir o

seu eficiente cumprimento (poda). Do mesmo modo, recomenda-se que o **fuste** da árvore de arruamento seja **igual ou superior a 4m**, para permitir a passagem de veículos de grandes dimensões sob a sua copa, com especial relevância para os veículos de resgate.

Para além de promover todos os serviços prestados pela árvore no ecossistema urbano, o Plano de Arborização ambiciona também potenciar a **permeabilidade** do espaço público nas ruas do Porto. A elevada taxa de impermeabilização da superfície do solo que se verifica na generalidade das ruas traz consequências ao nível da regulação dos ciclos hidrológicos, tais como o aumento da velocidade do escoamento superficial, redução da qualidade da água por acumulação de poluentes, aumento da erosão e redução da recarga dos aquíferos. Estas condições fazem com que as zonas urbanas se tornem especialmente propensas à ocorrência de inundações, devido à sobrecarga dos sistemas de drenagem tradicionais. A condução das águas pluviais para zonas mais permeáveis, especialmente associadas ao espaço da arborização, permitem, por um lado, mitigar alguns destes efeitos e, por outro, contribuem positivamente para melhores condições para o desenvolvimento da árvore no que diz respeito ao fornecimento de água ao solo.

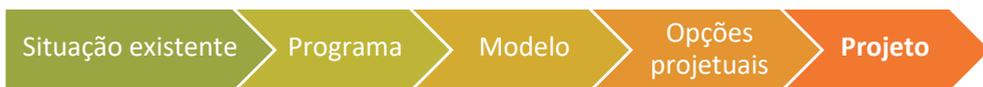


Figura 130 – Representação esquemática da metodologia de intervenção

Para além dos serviços de regulação (por exemplo, moderação do microclima e do ciclo hidrológico) e de suporte (como a produção de oxigénio e manutenção da biodiversidade), não devem ser descurados os serviços culturais que a árvore fornece em contexto urbano. A arborização contribui para o embelezamento e atratividade de qualquer zona urbana, e a interação dos humanos com as árvores traz positivos efeitos físicos, mentais, sociais e económicos (Roy et al., 2012; Andersson et al., 2015; Nesbitt et al., 2017). Assim, o Plano de Arborização ambiciona também que a reflexão, o desenho e a intervenção sobre as árvores de arruamento atinjam uma **boa composição urbanística e paisagística**, assegurando a sua congruência, funcionalidade, diversidade sensorial, depuração, simetria, continuidade e harmonia.

Os modelos de arborização apresentados no subcapítulo 6.2 refletem espacialmente todas estas orientações para ruas com diferentes larguras e diferentes configurações, articulando espaços de arborização, com espaços de circulação pedonal e espaços de circulação viária. Na generalidade dos modelos, a circulação do veículo de emergência é assegurada pelo espaço viário; apenas em alguns casos, prevê-se também a utilização de outros espaços como complemento para o corredor de emergência. O presente capítulo pretende auxiliar a transição entre a abstração dos modelos de arborização e a concretização do projeto de arborização de uma rua, demonstrando também os passos metodológicos (Figura 131) que se vão traduzir nas diferentes soluções para os protótipos de intervenção.

Os modelos de arborização ilustram diferentes soluções que otimizam a presença da árvore na rua e garantem o cumprimento dos diversos princípios orientadores apresentados acima. Em todos os modelos é sugerido o posicionamento dos espaços associados às diferentes funções (arborização, circulação pedonal e viária), assim como uma gama de variação relativa ao seu dimensionamento, pois pretende-se que sejam completamente

flexíveis, abrangentes e aplicáveis a todas as ruas da cidade. Para a criação de um projeto de arborização de arruamento, é necessário adequar a arborização às características particulares de cada rua, o que implica entrar em maior detalhe, definição e confronto com realidades e heterogeneidades não suportadas nos modelos.

Programa – Objetivos Gerais
Garantir o corredor mínimo para circulação de veículos de emergência de acordo com os regulamentos oficiais em vigor (para efeito do Plano de Arborização foi considerado o valor mínimo de 6m);
Garantir o acesso às propriedades e edifícios (acesso pedonal e/ou viário);
Utilizar a maior árvore possível adequada à classe de largura da rua e às suas circunstâncias funcionais;
Considerar o afastamento entre o limite da copa (ao fim de 20-30 anos) e o limite da rua (recomendado 1m);
Maximizar a permeabilidade do espaço público da rua;
Melhorar as condições para circulação pedonal e oportunidades de estadia;
Promover condições de mobilidade suave e de transportes coletivos;
Estimular a biodiversidade, utilizando sempre que possível maior número de espécies à escala da cidade e à escala das ruas, espécies autóctones ou ecologicamente compatíveis (não invasoras);
Assegurar uma boa composição urbanística e paisagística: congruência, funcionalidade, diversidade sensorial, depuração, simetria, continuidade e harmonia.

Tabela 30 – Objetivos gerais do Programa de todas as ruas-protótipo

O primeiro passo desta metodologia (Figura 131) envolve a análise da **situação existente** e aferição das futuras necessidades e exigências de cada rua-protótipo. Para este passo, foram consultadas as bases de dados espacialmente restituídas, fornecidas pela CMP, nomeadamente no que diz respeito à planimetria, cadastro das infraestruturas subterrâneas de recolha e fornecimento de água e inventário do arvoredo existente. A partir destas bases foi feita uma verificação de todos os parâmetros que possam afetar o posicionamento e dimensionamento das três principais componentes da rua (espaço da arborização, espaço pedonal e espaço viário), tais como a largura da rua, a espécie, dimensão e localização de árvores pré-existentes (no caso de ruas previamente arborizadas), entradas de garagem, fluxos viários, estacionamento, recuos ocasionais de fachadas, corpos balançados, contentores de resíduos, infraestruturas, etc. Neste procedimento pretende-se avaliar a adequação das condições existentes, face às exigências que a rua apresenta para as diversas funções e, em particular, para a introdução da arborização.

De seguida, é delineado o **programa** para a intervenção, em que são definidos os objetivos para a intervenção em cada rua-protótipo. Neste passo, é feita uma reflexão sobre os princípios orientadores do Plano de Arborização, que se traduzem em objetivos gerais transversais a todas as ruas (Tabela 30) e em objetivos específicos a cada caso. De uma forma geral, procura-se apresentar soluções de organização do espaço da rua que permitam maximizar a presença da árvore na rua e a permeabilidade, garantindo e otimizando os fluxos de circulação necessários em cada caso. Os objetivos específicos procuram articular os objetivos gerais traçados para todas as ruas-protótipo com as necessidades encontradas em cada rua.

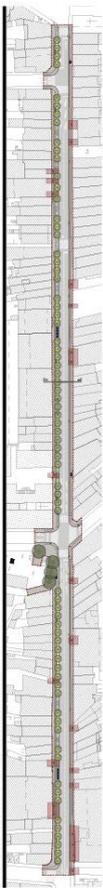
Após a conceção do programa, é necessário analisar quais serão os modelos preferencialmente aplicáveis (subcapítulo 6.2); os **modelos de arborização** informam, de um modo geral, quais as hipóteses de posicionamento da arborização e qual a dimensão das árvores a aplicar de acordo com esse posicionamento. De seguida, importa entender de que forma os diferentes modelos irão ajudar a atingir ou, pelo contrário, criar obstáculos ao cumprimento dos objetivos propostos no programa da intervenção. Todos os modelos assumem, desde a sua conceção, o cumprimento dos pressupostos de espaço necessário para a árvore em relação à dimensão da rua (garantia do corredor de emergência, adequado afastamento entre as copas e as fachadas, etc.), assim como sugerem composições equilibradas do ponto de vista do desenho e organização do espaço. Porém, os modelos de arborização têm de se adequar às características particulares de cada rua, podendo haver modelos que respondem mais satisfatoriamente às exigências de cada rua.

Com um procedimento semelhante, são analisadas diferentes **opções projetuais**, relativas ao posicionamento e dimensionamento dos diferentes elementos, e são selecionadas as que melhor respondem ao programa de intervenção. Finalmente, o **projeto** para cada protótipo é desenvolvido (ao nível de estudo prévio) e é espacialmente representado nas suas diferentes peças gráficas e descrito em pormenor, nas tabelas de descrição da proposta. De forma a conseguir ilustrar de forma eficaz cada proposta de intervenção, são apresentadas plantas, cortes e visualizações. Os projetos foram desenvolvidos recorrendo a ferramentas de desenho e representação digital. As visualizações, obtidas de diversos pontos de vista, pretendem representar com o rigor possível um cenário realista. As árvores apresentam-se em representação genérica na circunstância da biblioteca disponível no *software* utilizado.

Como mencionado no subcapítulo 7.1., foram desenvolvidas propostas, ao nível do estudo prévio, para dez ruas da cidade, sendo que para algumas foram desenvolvidas mais do que uma versão. O desenvolvimento de versões diferentes para a mesma rua teve como objetivo explicitar que poderá haver mais do que uma solução viável para cada caso, bem como comprovar as vantagens e desvantagens da utilização de cada tipo de alinhamento. Apesar de todos os casos serem diferentes, optou-se por, nesta publicação, ilustrar os casos mais distintos, sendo estes:

1. Rua do Heroísmo
2. Rua de Camões
3. Avenida de Rodrigues de Freitas
4. Rua de Pinto Bessa
5. Rua de Gondarém
6. Rua de Damião de Góis

Rua do Heroísmo



Rua de Camões



Rua do Duque de Saldanha



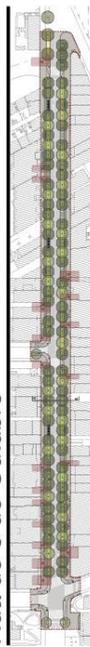
Rua da Constituição



Rua de Serpa Pinto



Rua de 5 de Outubro



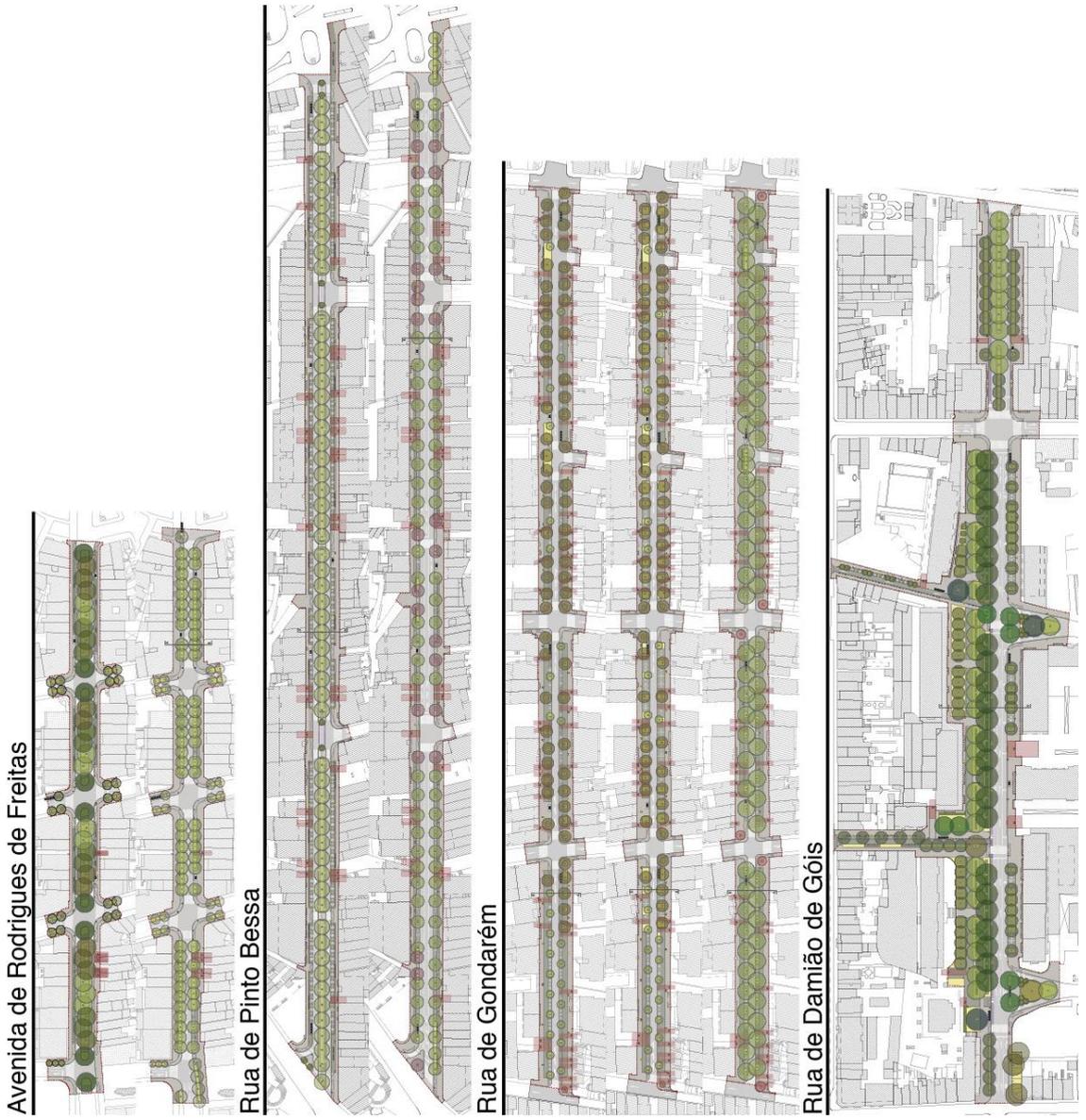


Figura 131 – Representação das propostas desenvolvidas para as 10 ruas-protótipo

7.3.1. Rua do Heroísmo

A Rua do Heroísmo tratando-se de uma rua estreita, e, portanto, com bastantes constrangimentos de espaço, tem apenas a possibilidade de introdução de elementos arbóreos organizados em alinhamentos segundo o **modelo 1: rua estreita com alinhamento unilateral de árvores de copa estreita** (ver subcaptulo 6.2.2).

A proposta de arborização da Rua do Heroísmo pretende trazer a presença da árvore para uma malha urbana antiga e densamente construída. Esta rua é marcada pela intensidade de trânsito e tem também elevada relevância no contexto dos transportes coletivos (autocarro e metro). A sua classificação como eixo urbano estruturante dita uma redução drástica do estacionamento no espaço público da rua, o que possibilita por sua vez a otimização dos espaços permeáveis e dos espaços pedonais. A presente proposta não se debruçou sobre os sentidos de trânsito, procurando-se preservar os fluxos de trânsito existentes. Na possibilidade de, no futuro, este eixo urbano passar a ter apenas um sentido de trânsito automóvel, o espaço viário poderá ser consideravelmente reduzido, permitindo o afastamento das árvores das fachadas e, talvez, a introdução de árvores de copa média-estreita.

Devido aos constrangimentos de espaço, apenas é possível incluir um espaço para a arborização, posicionado assimetricamente, que deverá acolher árvores de copa estreita, que se pretende que harmonizem a vivência desta rua. A introdução da arborização nesta rua, pertencente à rede pedonal estruturante, ambiciona a promoção dos fluxos pedonais, ao oferecer melhores condições de conforto e segurança ao peão. Adicionalmente, a colocação de um alinhamento junto das fachadas orientadas a sul corresponde às recomendações do estudo bioclimático.

Figura 132 – Ilustração comparativa para a Rua do Heroísmo



Situação existente



Proposta de intervenção

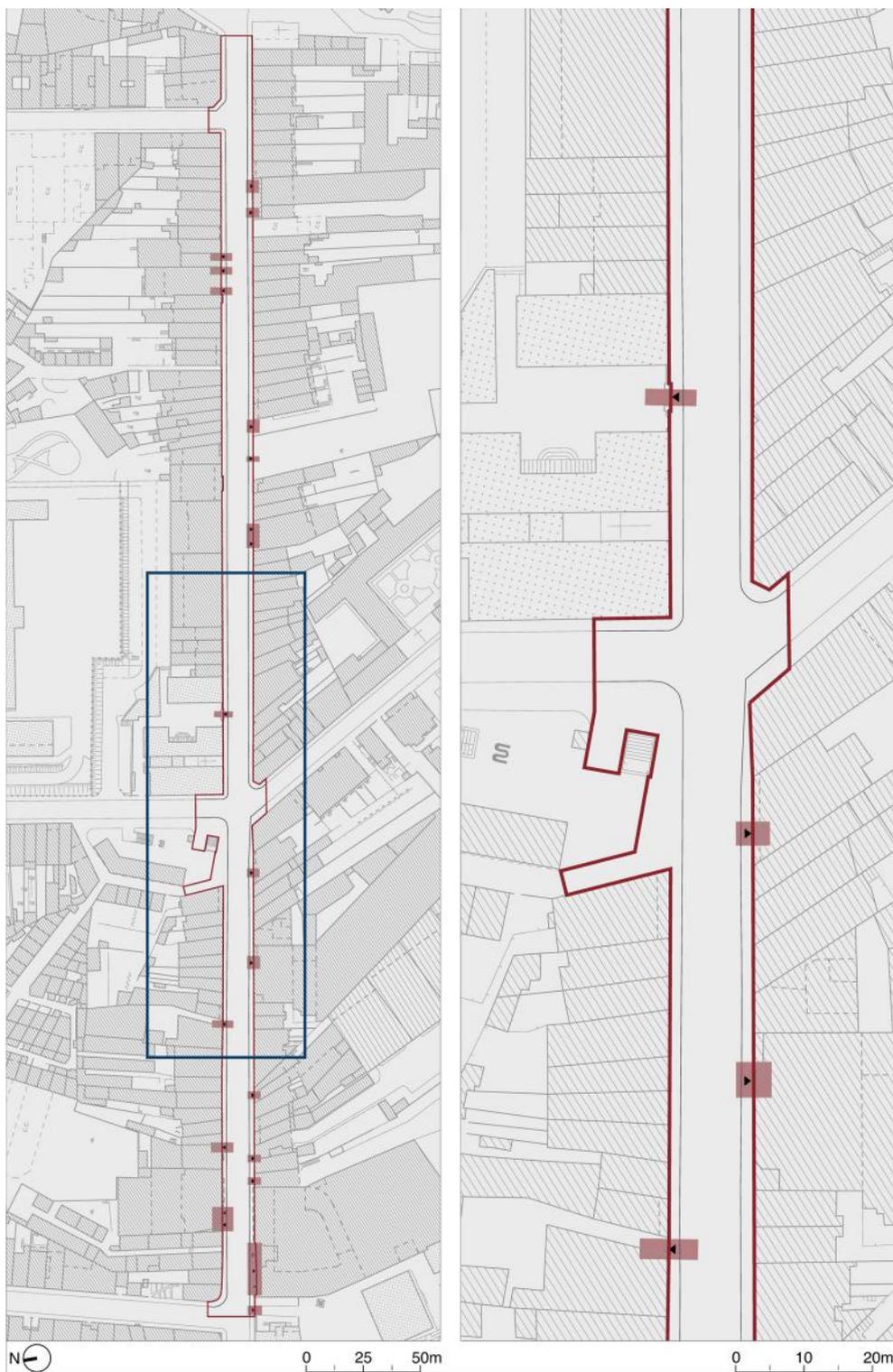


Figura 133 – Vista planimétrica da situação existente da Rua do Heroísmo



Figura 134 – Vista planimétrica da proposta para a Rua do Heroísmo



Figura 136 – Visualizações da proposta para a Rua do Heroísmo

7.3.2. Rua de Camões

A Rua de Camões trata-se de uma rua média entre os 14m e os 15m, e apesar de ter alguns constrangimentos de espaço, existem duas possíveis soluções: o modelo 2, com alinhamento central de árvore de copa média-larga, e o modelo 3, com alinhamento bilateral de árvore estreita. O modelo 2, com alinhamento central, tem a vantagem de permitir a colocação de uma árvore maior, o que iria potenciar os serviços do ecossistema prestados pela arborização de arruamento; no entanto, neste caso, este modelo de arborização impossibilita a coexistência de estacionamento lateral e de dois corredores para a circulação do veículo de emergência com as dimensões previamente estipuladas (6m de largura), não se ajustando adequadamente às características espaciais e funcionais desta rua. Por outro lado, o **modelo 3**, com **alinhamento bilateral**, permite uma fácil integração de duas bandas de estacionamento nos espaços da arborização sem comprometer a passagem de veículos de emergência, tem um maior potencial para o aumento das áreas permeáveis e sugere um melhor remate e enquadramento da frente urbana confinante. Contudo, as características desta rua permitem a introdução de uma árvore ligeiramente maior do que a prevista no modelo; por este motivo, foi feita uma pequena adaptação do modelo 3, em que se consideraram árvores de copa média-estreita até 5m de largura, tendo sido posicionadas com bastante precisão de modo a minimizar o conflito com as fachadas, permitindo assim a otimização do desempenho ecológico da rua.

A proposta de intervenção para a Rua de Camões ambiciona otimizar a sua função ecológica, ao maximizar a área permeável e o coberto arbóreo. Deste modo, será mais significativa a promoção da qualidade ambiental, urbanística e paisagística da rua, sobretudo nesta zona central da cidade com falta de espaços verdes de acesso público de proximidade, elevada impermeabilização e situação microclimática pouco favorável para o conforto humano no exterior. Aqui pretende-se estabelecer ligações entre importantes espaços verdes e espaços naturais, beneficiando especialmente os fluxos hidrológicos e de biodiversidade, intenção que se encontra refletida na estrutura ecológica municipal (rede de conexão e corredores verdes).

Figura 137 – Ilustração comparativa para a Rua de Camões



Situação existente



Proposta de intervenção

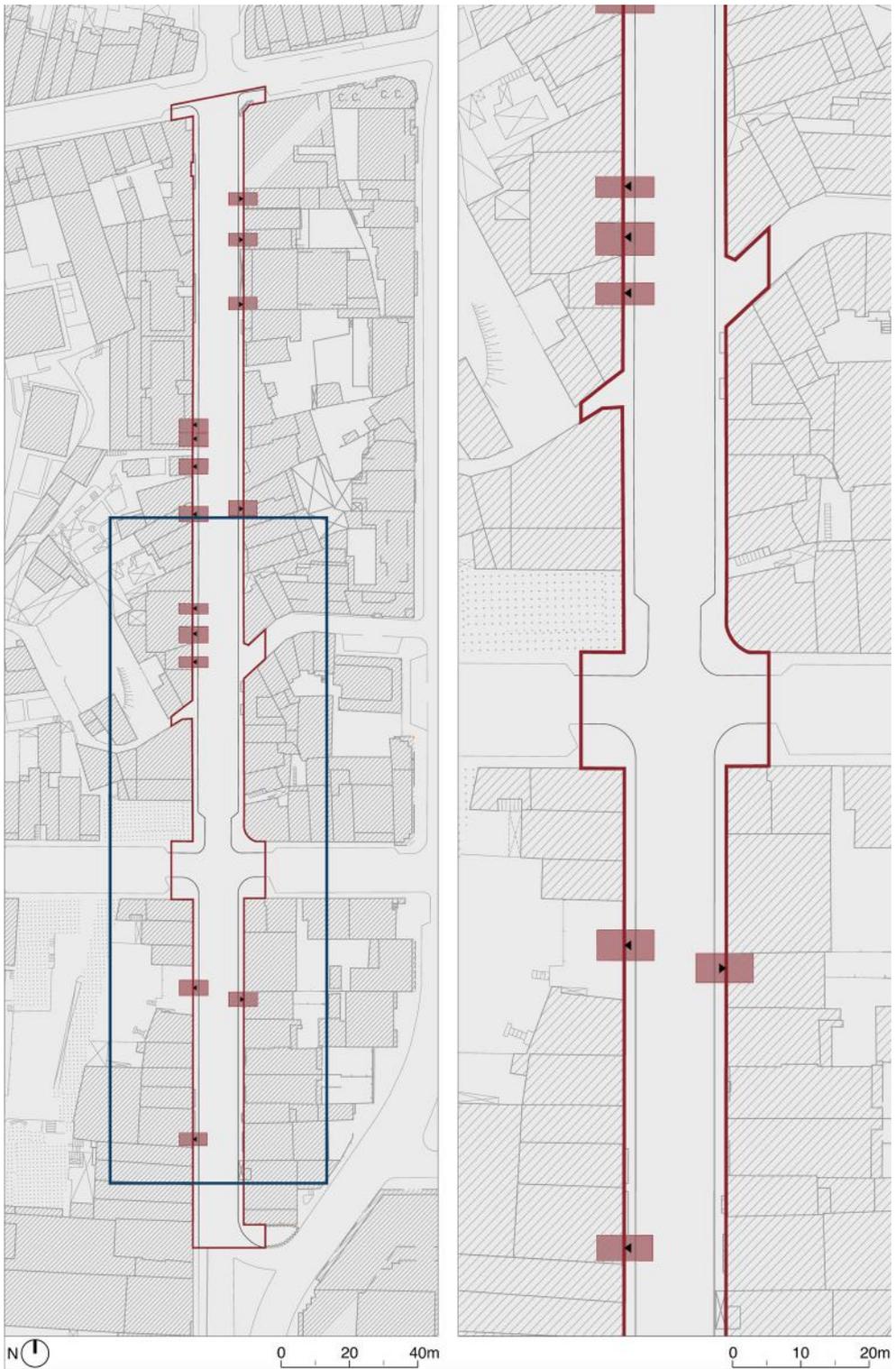


Figura 138 – Vista planimétrica da situação existente da Rua de Camões

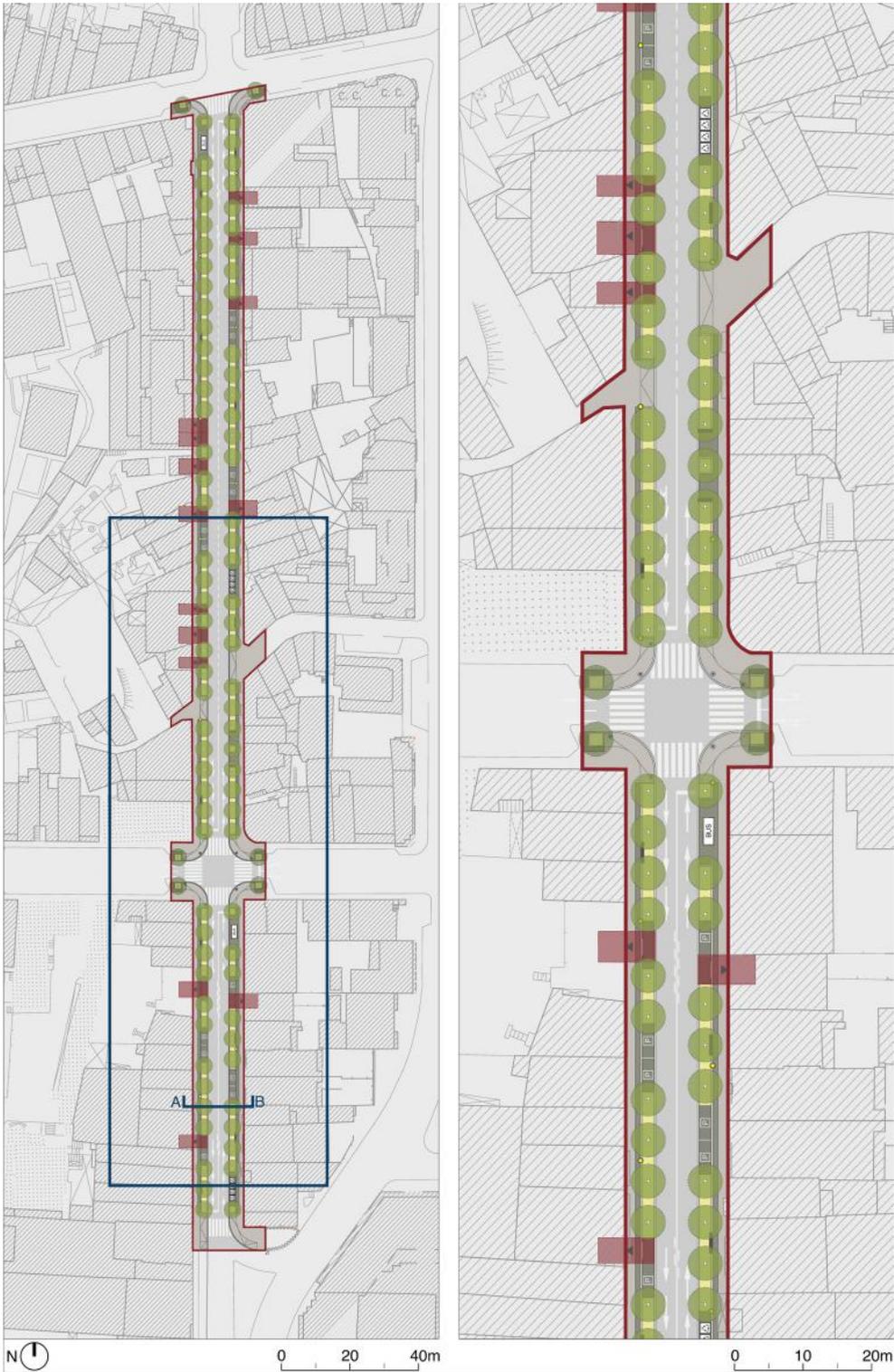
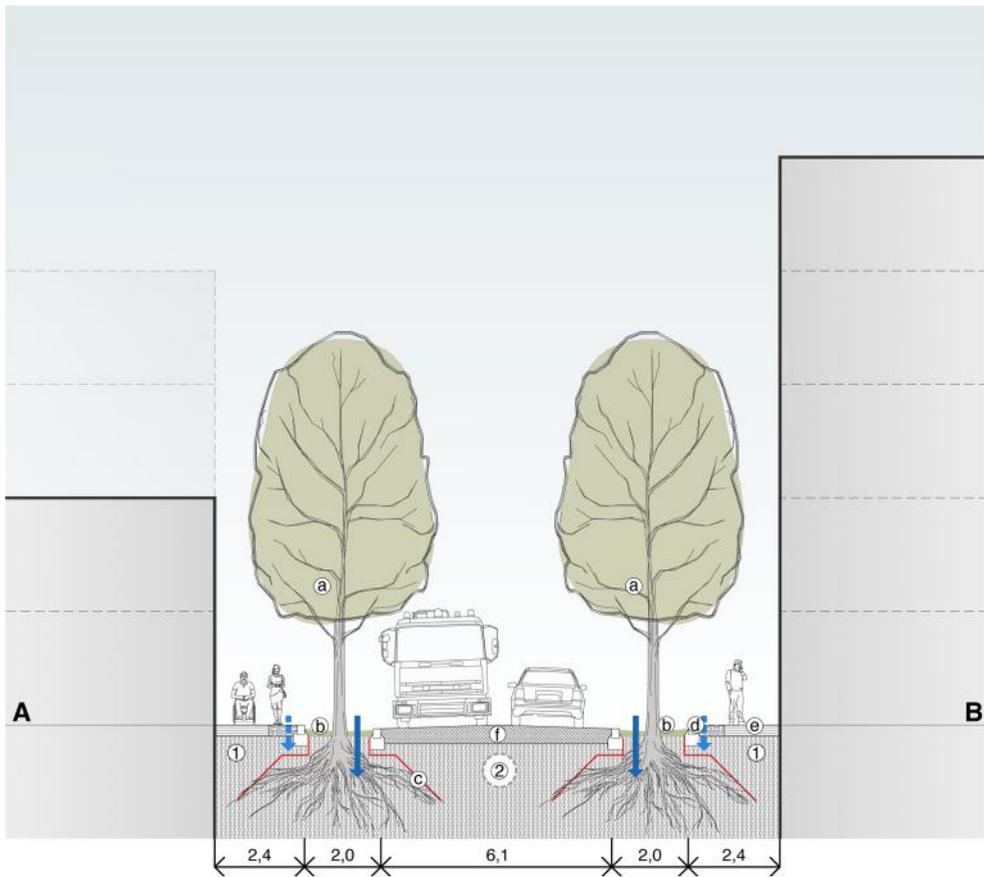


Figura 139 – Vista planimétrica da versão 1 da proposta para a Rua de Camões, com maior área permeável



Espaço da arborização

- Ⓐ Árvore de copa média-estreita (tipo *Betula pendula* 'Fastigiata', *Liquidambar styraciflua* 'Fastigiata', *Quercus robur* 'Fastigiata', etc.)
- Ⓑ Revestimento herbáceo-arbustivo ou inerte (permeável)
- Ⓒ Barreira que separa a zona radicular das estruturas construídas e infraestruturas

Espaço pedonal

- Ⓓ Pavimento rugoso (semi-permeável)
- Ⓔ Pavimento liso
- ① Infraestruturas (ex.: eletricidade, telecomunicações, fornecimento de água, etc.)

Espaço viário

- ① Pavimento viário
- ② Infraestruturas (ex.: águas pluviais, saneamento, etc.)

Permeabilidade

- ⋯➔ Permeabilidade máxima
- ➔ Semi-permeabilidade

Figura 140 – Corte da proposta para a Rua de Camões



Figura 141 – Visualizações da proposta para a Rua de Camões

7.3.3. Avenida de Rodrigues de Freitas

A Avenida de Rodrigues de Freitas é um exemplo emblemático de uma rua larga da cidade, com uma largura média compreendida entre os 19,5m e os 20,5m. De acordo com os modelos de arborização, existem quatro possíveis soluções: o modelo 2 (alinhamento central de árvores de copa média-larga); o modelo 4 (alinhamento bilateral de árvores de copa média-estreita); o modelo 5 (alinhamento central de árvores de copa larga); o modelo 6 (alinhamento bilateral de árvores de copa média-larga); e, o modelo 9 (alinhamento central de árvores de copa muito larga). Regra geral, não se recomenda este modelo para esta classe de rua para evitar situações de sombreamento excessivo da rua. Contudo, julga-se que é possível instalar este modelo pois o edificado da Avenida Rodrigues de Freitas apresenta, em média, 2 a 3 pisos.

Os modelos 2, 5 e 9, com alinhamento central, têm a vantagem de permitir a colocação de árvores ao centro da rua, onde podem desenvolver a copa de forma menos estrangida, potenciando os serviços de ecossistema. Como o **modelo 9** é o que possibilita a introdução da maior árvore possível (árvore de copa muito larga), optou-se por seleccionar este modelo de **arborização central**. Esta proposta redefine a dinâmica da rua através da realocação do espaço da arborização para o centro da rua, permitindo a introdução de um alinhamento de árvores de copa muito larga e de uma faixa central com uma solução de SUDS. Tendo em conta a classificação desta rua como eixo estruturante que ocorre numa “Zona XXI”, o espaço viário foi otimizado de forma a promover a circulação e estadia pedonais. Apesar desta proposta “romper” com a tradição de alinhamento bilateral desta rua, apresenta vantagens ao nível da maximização da árvore na rua, com todos os benefícios ao nível dos serviços de ecossistema que daí advém.

No entanto, a Avenida de Rodrigues de Freitas constitui um caso de arborização viária histórico-referencial na cidade do Porto pelo que a adoção de um modelo de alinhamento central é uma solução que transforma as dinâmicas atuais da rua e “rompe” com a tradição do alinhamento bilateral. Assim, os modelos 4 e 6, com alinhamento bilateral, permitem manter a atual dinâmica da rua enquanto preservam a tradição de arborização bilateral. Outra vantagem deste tipo de alinhamento é o aumento da área permeável com a criação de bandas de arborização laterais, que permitem criar uma barreira entre o espaço viário e o espaço pedonal. Devido à tradição existente de um alinhamento bilateral, adotou-se, também, o **modelo 6**, com **alinhamento bilateral** de árvores de copa média-larga.

Figura 142 – Ilustração comparativa para a Avenida de Rodrigues de Freitas



Situação existente



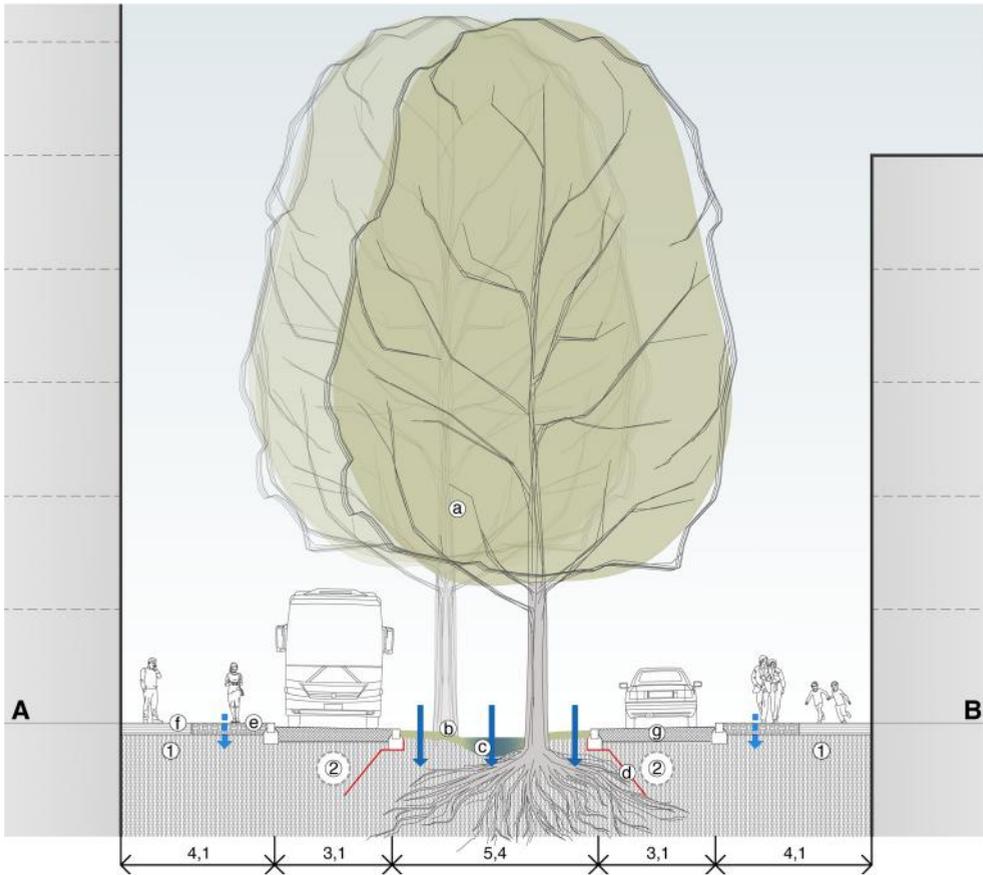
Proposta de intervenção (versão com alinhamento central)



Figura 143 – Vista planimétrica da situação existente da Avenida de Rodrigues de Freitas



Figura 144 – Vista planimétrica da proposta de alinhamento central para a Avenida de Rodrigues de Freitas



Espaço da arborização

- Ⓐ Árvore de copa muito larga (tipo *Acer saccharinum*, *Fraxinus excelsior*, *Tilia tomentosa*, etc.)
- Ⓑ Revestimento herbáceo-arbustivo ou inerte (permeável)
- Ⓒ Sistemas urbanos de drenagem sustentável (SUDS)
- Ⓓ Barreira que separa a zona radicular das estruturas construídas e infraestruturas

Espaço pedonal

- Ⓔ Pavimento rugoso (semi-permeável)
- Ⓕ Pavimento liso
- Ⓖ Infraestruturas (ex.: eletricidade, telecomunicações, fornecimento de água, etc.)

Espaço viário

- Ⓗ Pavimento viário
- Ⓖ Infraestruturas (ex.: águas pluviais, saneamento, etc.)

Permeabilidade

- ⋯➔ Permeabilidade máxima
- ➔ Semi-permeabilidade

Figura 145 – Corte da proposta de alinhamento central para a Avenida de Rodrigues de Freitas



Figura 146 – Visualizações da proposta de alinhamento central para a Avenida de Rodrigues de Freitas

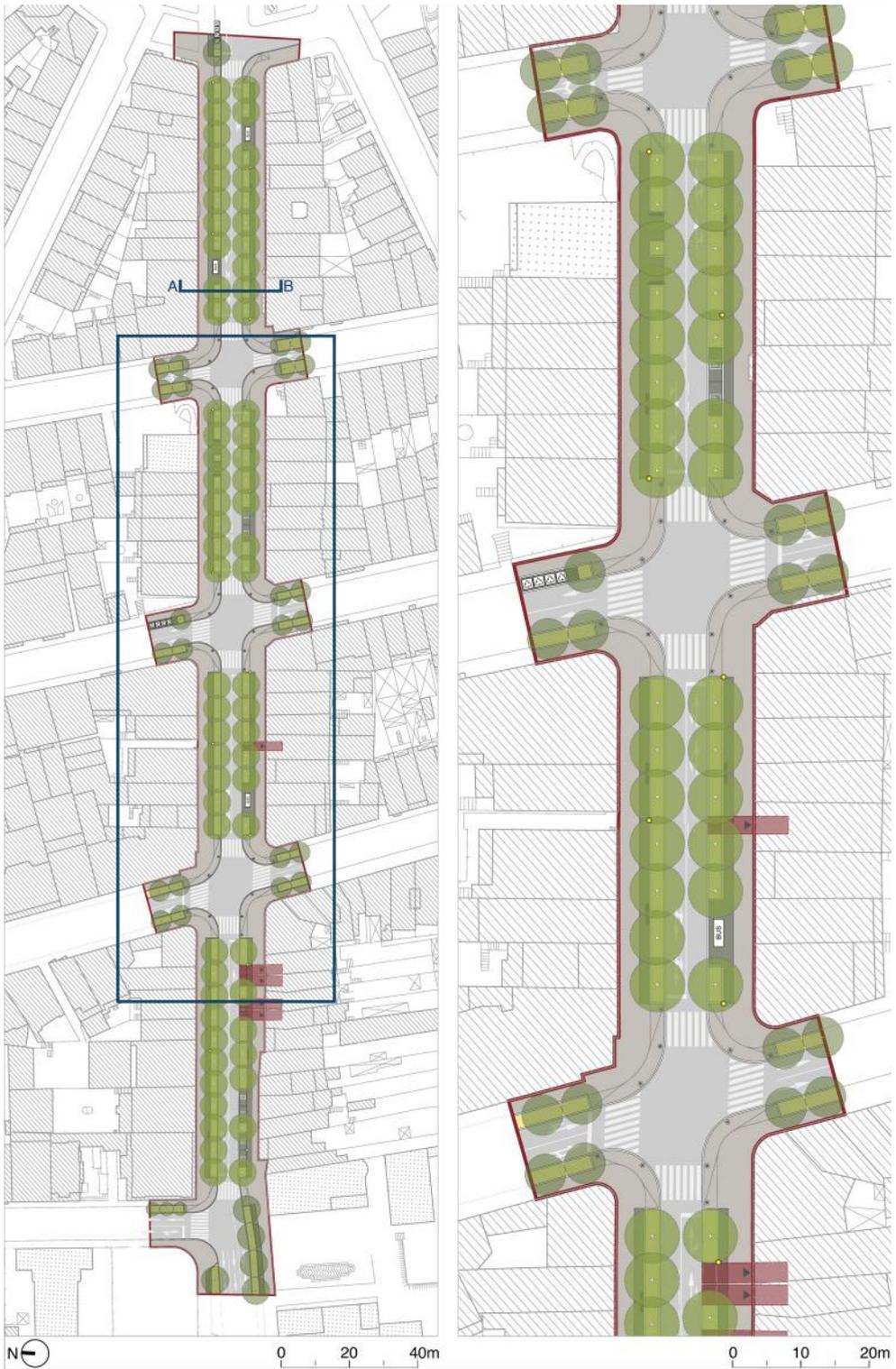
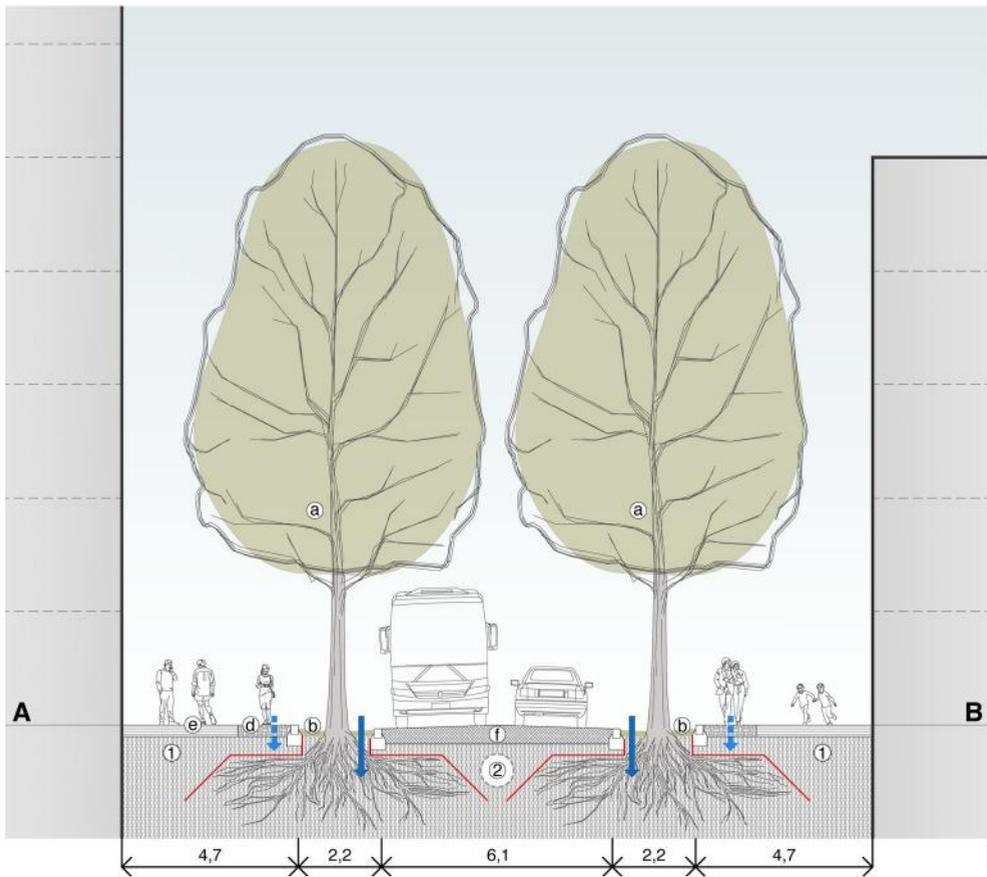


Figura 147 – Vista planimétrica da proposta de alinhamento bilateral para a Avenida de Rodrigues de Freitas



Espaço da arborização

- Ⓐ Árvore de copa média-larga (tipo *Tilia cordata* 'Greenspire', *Ginkgo biloba*, *Aesculus x carnea*, etc.)
- Ⓑ Revestimento herbáceo-arbustivo ou inerte (permeável)
- Ⓒ Barreira que separa a zona radicular das estruturas construídas e infraestruturas

Espaço pedonal

- Ⓓ Pavimento rugoso (semi-permeável)
- Ⓔ Pavimento liso
- ① Infraestruturas (ex.: eletricidade, telecomunicações, fornecimento de água, etc.)

Espaço viário

- ① Pavimento viário
- ② Infraestruturas (ex.: águas pluviais, saneamento, etc.)

Permeabilidade

- ⬆ Permeabilidade máxima
- ➡ Semi-permeabilidade

Figura 148 – Corte da proposta de alinhamento bilateral para a Avenida de Rodrigues de Freitas



Figura 149 – Visualizações da proposta de alinhamento bilateral para a Avenida de Rodrigues de Freitas

7.2.4. Rua de Pinto Bessa

A Rua de Pinto Bessa é de uma rua larga da cidade, com uma largura média compreendida entre os 21m e os 21,5m, logo é uma rua sem grandes limitações de espaço. De acordo com os modelos de arborização, existem duas possíveis soluções: o modelo 5, com alinhamento central de árvore de copa larga, e o modelo 6, com alinhamento bilateral de árvore média-larga. O modelo 5, com alinhamento central, tem a vantagem de permitir a colocação de uma árvore maior, o que permite potenciar os serviços do ecossistema. Como atualmente existe um eixo central (permeável, mas não arborizado), este modelo poderá ser facilmente adotado nesta rua. Constatou-se que nesta rua será possível introduzir uma árvore de copa muito larga em alinhamento central pelo que se selecionou o **modelo 9**, com alinhamento de árvores de copa muito larga. Esta proposta para a Rua de Pinto Bessa tira proveito da situação existente, no que concerne à organização do trânsito (duas faixas de rodagem separadas por placa central), para introduzir um alinhamento de árvores ao centro da rua. De entre todas as composições possíveis, este posicionamento da árvore é o que permite a utilização de uma árvore de maior dimensão, potenciando assim o provisionamento de serviços de ecossistema, enquanto minimiza o conflito entre as copas e as fachadas dos edifícios; com esta opção, surge menos competição com entradas de garagens, pontos de recolha de resíduos, paragens de autocarro e estacionamento. As propostas com modelos de alinhamento central otimizam significativamente a organização do espaço público da rua, pois garantem maior autonomia e melhor desempenho ao espaço de arborização, ao espaço pedonal e ao espaço viário.

Por outro lado, o **modelo 6**, com alinhamento bilateral de árvore média-larga, também poderá ser aplicado nesta rua, sendo que este modelo permite uma fácil integração de duas bandas de estacionamento nos espaços da arborização. Este modelo tem um maior potencial para o aumento das áreas permeáveis, se forem utilizadas faixas contínuas em detrimento de caldeiras, e sugere uma melhor integração da frente urbana.

Visto que as duas soluções apresentam benefícios diferentes e são soluções igualmente válidas para a Rua de Pinto Bessa, optou-se por explorar as duas soluções em propostas distintas, que pretendem demonstrar as possibilidades de arborização desta rua.

Figura 150 – Ilustração comparativa para a Rua de Pinto Bessa



Situação existente



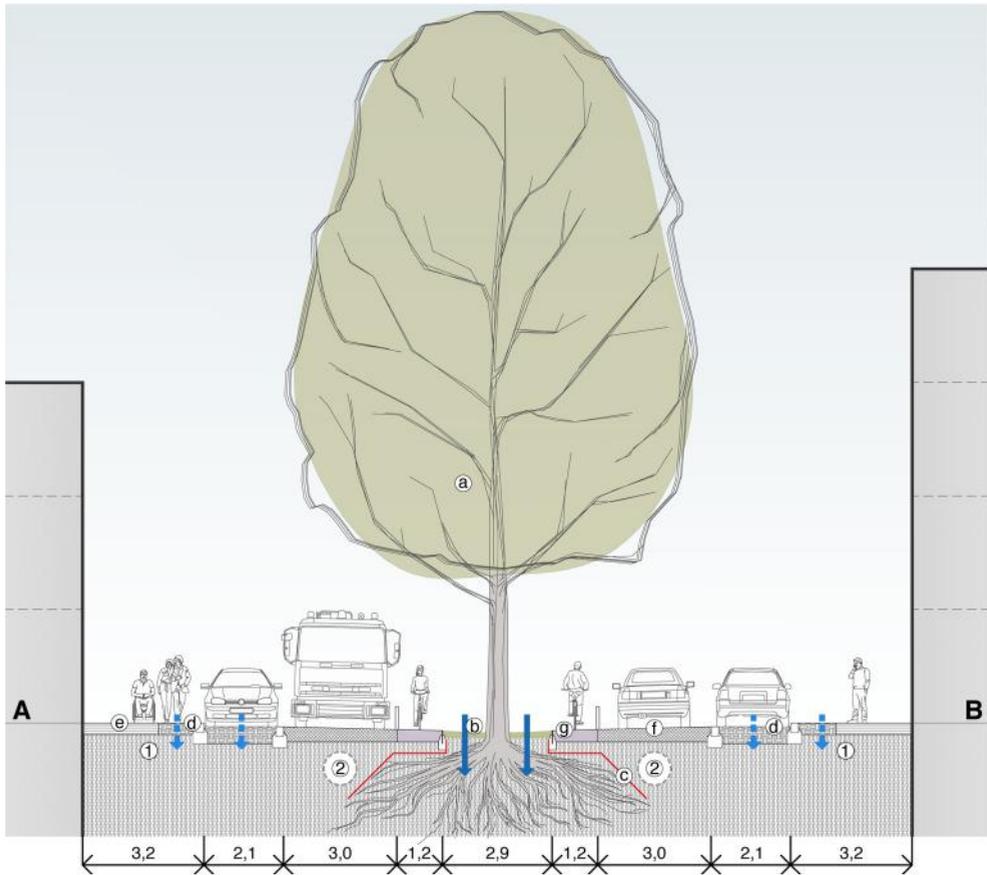
Proposta de intervenção (versão com alinhamento central)



Figura 151 – Vista planimétrica da situação existente da Rua de Pinto Bessa



Figura 152 – Vista planimétrica da proposta de alinhamento central para a Rua de Pinto Bessa



Espaço da arborização

- Ⓐ Árvore de copa muito larga (tipo *Platanus x acerifolia*, *Tilia tomentosa*, etc.)
- Ⓑ Revestimento herbáceo-arbustivo ou inerte (permeável)
- Ⓒ Barreira que separa a zona radicular das estruturas construídas e infraestruturas

Espaço pedonal

- Ⓓ Pavimento rugoso (semi-permeável)
- Ⓔ Pavimento liso
- ① Infraestruturas (ex.: eletricidade, telecomunicações, fornecimento de água, etc.)

Espaço viário

- Ⓛ Pavimento viário
- Ⓜ Pavimento para ciclovia
- ② Infraestruturas (ex.: águas pluviais, saneamento, etc.)

Permeabilidade

- ▶ Permeabilidade máxima
- ▶ Semi-permeabilidade

Figura 153 – Corte da proposta de alinhamento central para a Rua de Pinto Bessa



Figura 154 – Visualizações da proposta de alinhamento central para a Rua de Pinto Bessa

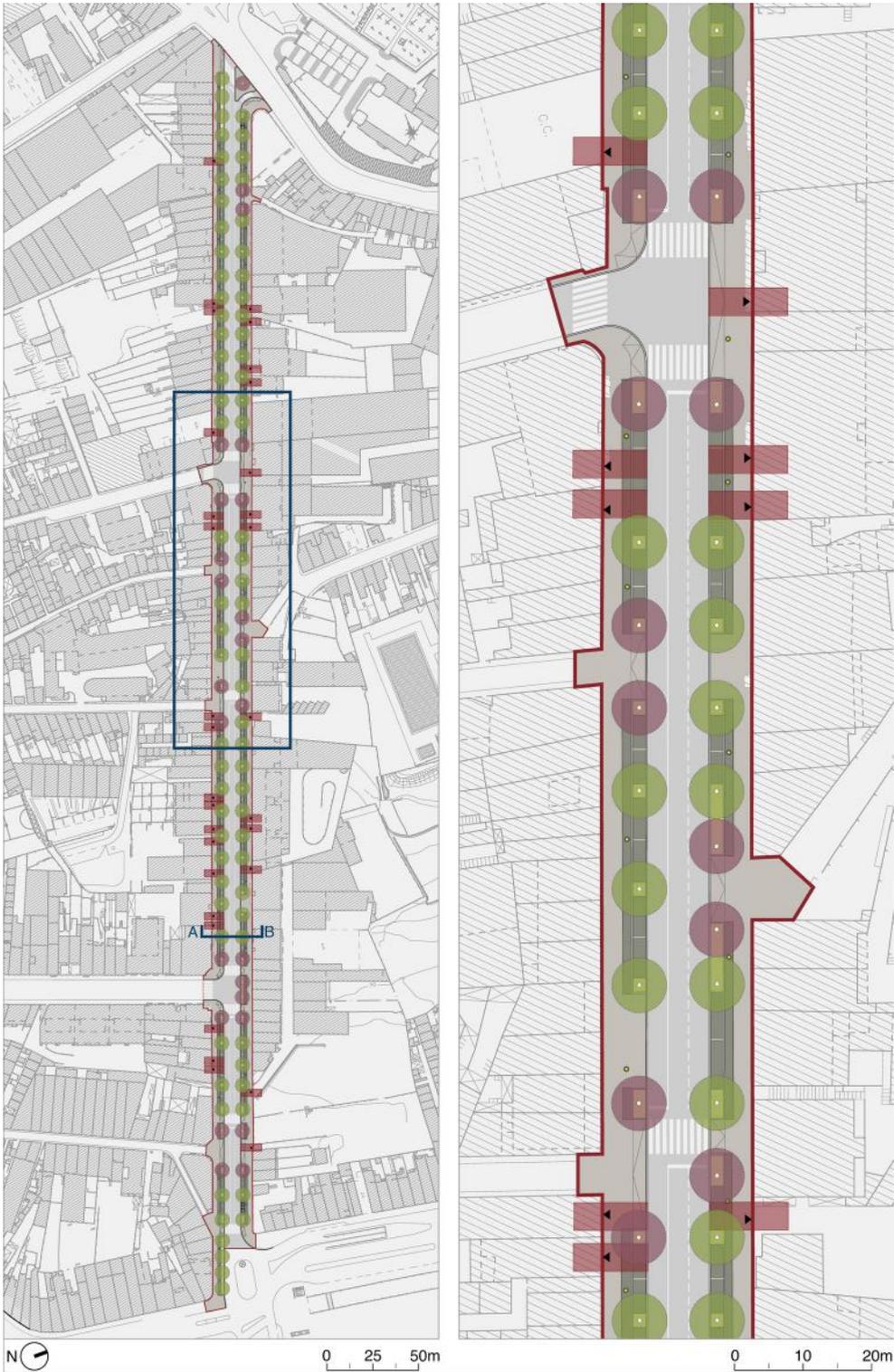
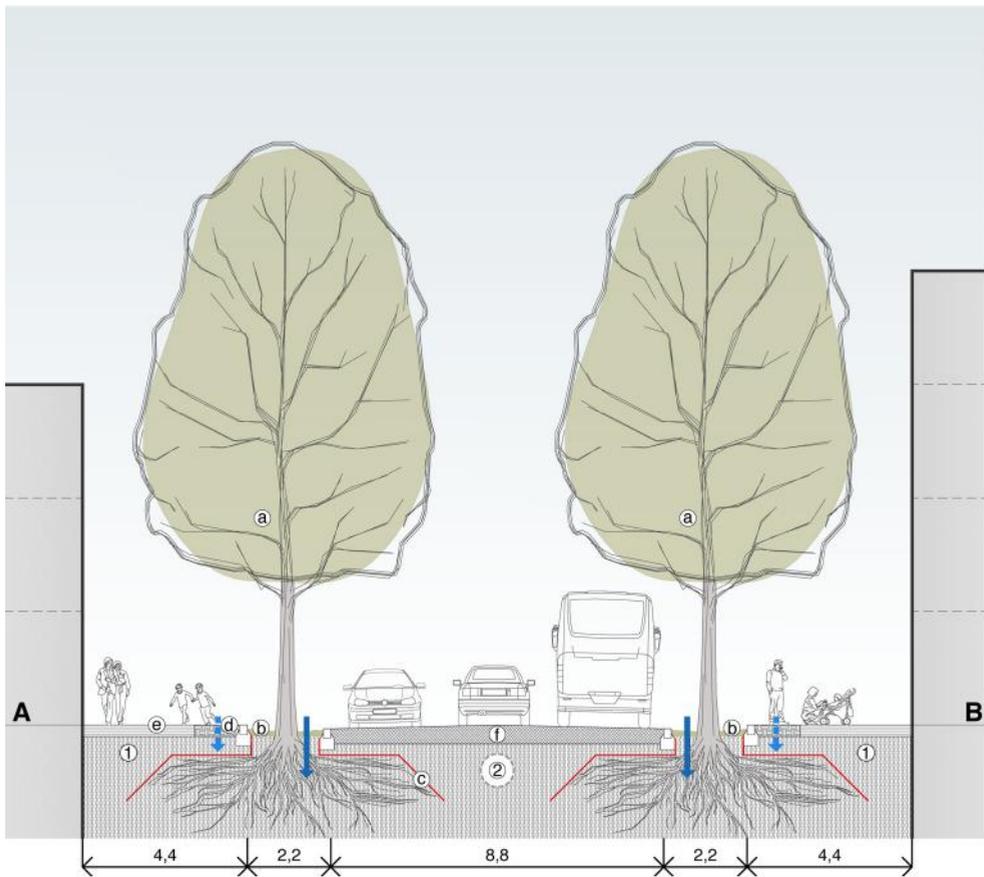


Figura 155 – Vista planimétrica da proposta de alinhamento bilateral para a Rua de Pinto Bessa



Espaço da arborização

- Ⓐ Árvore de copa média-larga (tipo *Aesculus hippocastanum*, *Liriodendron tulipifera* 'Fastigiatum', etc.)
- Ⓑ Revestimento herbáceo-arbustivo ou inerte (permeável)
- Ⓒ Barreira que separa a zona radicular das estruturas construídas e infraestruturas

Espaço pedonal

- Ⓓ Pavimento rugoso (semi-permeável)
- Ⓔ Pavimento liso
- ① Infraestruturas (ex.: eletricidade, telecomunicações, fornecimento de água, etc.)

Espaço viário

- Ⓛ Pavimento viário
- ② Infraestruturas (ex.: águas pluviais, saneamento, etc.)

Permeabilidade

- ⋯➔ Permeabilidade máxima
- ➔ Semi-permeabilidade

Figura 156 – Corte da proposta de alinhamento bilateral para a Avenida de Rodrigues de Freitas



Figura 157 – Visualizações da proposta de alinhamento bilateral para a Avenida de Rodrigues de Freitas

7.2.5. Rua de Gondarém

A Rua de Gondarém é uma rua larga, com uma largura entre os 20,5m e os 22m e arborização associada a desenho urbano de caráter histórico (zona balnear). De acordo com o subcapítulo 6.2. Modelos de arborização de arruamento sugerem-se duas possíveis soluções: o modelo 5, com alinhamento central de árvore de copa larga, e o modelo 6, com alinhamento bilateral de árvore média-larga. Contudo, devido ao caráter histórico da arborização, considerou-se que a proposta de intervenção nesta rua deve implicar a observação de outros fatores prioritários, fora do âmbito dos modelos de arborização. Tendo em conta que é uma rua com alinhamentos bilaterais de plátanos – uma árvore tradicionalmente utilizada nas zonas balneares –, a proposta deverá passar por manter estas árvores, procurando o reposicionamento dos alinhamentos na rua e mantendo frequentes operações de manutenção para controlo das copas para evitar um conflito tão intenso com o edificado.

A proposta para a Rua de Gondarém prevê uma intervenção faseada que considera a manutenção de árvores pré-existentes, apresentando por isso uma proposta inicial e uma proposta final. A proposta inicial divide-se em duas soluções (versões iniciais 1 e 2) que têm como principal diferença a tipologia de estacionamento na rua. As duas soluções iniciais têm como objetivo evoluir para o cenário apresentado na versão final, em que todas as árvores terão sido substituídas e o paradigma de estacionamento terá se alterado.

Versão inicial 1, que representa a fase inicial de implantação de novas árvores, tirando partido das existentes e mantendo a tipologia de estacionamento perpendicular;

Versão inicial 2, que representa a fase inicial de implantação de novas árvores, tirando partido das existentes e convertendo a tipologia atual de estacionamento em estacionamento em paralelo;

Versão final, que representa o evoluir da intervenção, para uma fase em que todas as árvores atualmente existentes já terão sido removidas e os alinhamentos da nova arborização se estabilizam, com estacionamento em paralelo.

Figura 158 – Ilustração comparativa para a Rua de Gondárem



Situação existente



Proposta de intervenção (versão final)



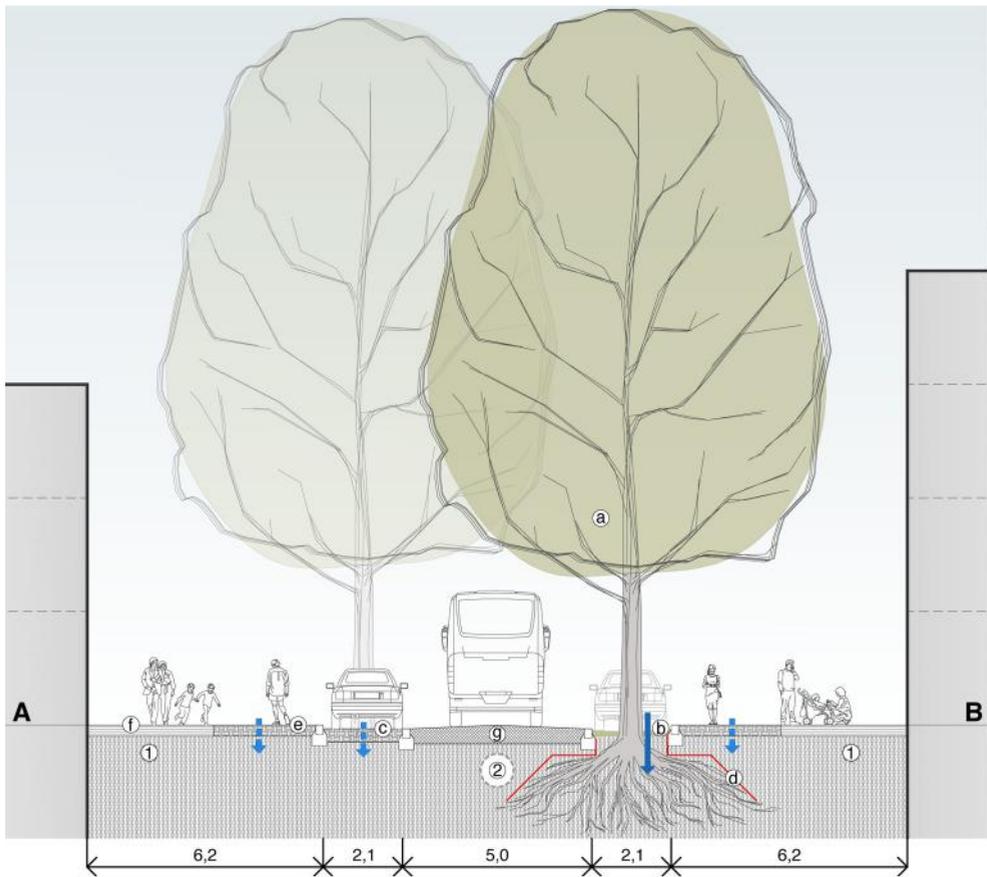
Figura 159 – Vista planimétrica da situação existente da Rua de Gondarém



Figura 160 – Vista planimétrica da proposta para a Rua de Gondarém (versão final)



Figura 161 – Vista planimétrica das propostas de intervenção para a Rua de Gondarém (versões iniciais 1 e 2 e versão final)



Espaço da arborização

- Ⓐ Árvore de copa média-larga (tipo *Platanus x acerifolia*, etc.)
- Ⓑ Revestimento herbáceo-arbustivo ou inerte (permeável)
- Ⓒ Pavimento rugoso (semi-permeável)
- Ⓓ Barreira que separa a zona radicular das estruturas construídas e infraestruturas

Espaço pedonal

- Ⓔ Pavimento rugoso (semi-permeável)
- Ⓕ Pavimento liso
- ① Infraestruturas (ex.: eletricidade, telecomunicações, fornecimento de água, etc.)

Espaço viário

- Ⓖ Pavimento viário
- ② Infraestruturas (ex.: águas pluviais, saneamento, etc.)

Permeabilidade

- ⬆️ Permeabilidade máxima
- ➡️ Semi-permeabilidade

Figura 162 – Corte da proposta final para a Rua de Gondarém



Figura 163 – Visualizações da proposta final para a Rua de Gondarém

7.2.6. Rua de Damião de Góis

A Rua de Damião de Góis é uma das poucas ruas muito largas na cidade do Porto, tendo uma largura entre os 35,5m e os 48,5m. Neste caso existem seis possíveis soluções: o modelo 13, 14, 17 e 18, com alinhamento múltiplo de árvores e o modelo 15, com alinhamento bilateral (consultar subcapítulo 6.2.). Tendo em conta as características desta rua considerou-se que o modelo selecionado para esta rua deverá: 1) permitir maximizar a permeabilidade e o coberto arbóreo, procurando introduzir árvores largas e muito largas distribuídas em extensas faixas permeáveis; 2) otimizar o espaço público criando oportunidades de estadia e de fruição para os peões; 3) diminuir o espaço dedicado à circulação viária. Optou-se por adotar o **modelo 18** no troço da rua muito larga, explorando o alinhamento múltiplo com alinhamento central-duplo, em que o espaço viário principal será concentrado a sul do alinhamento central com apenas um sentido de trânsito. No troço de rua larga, a nascente da rua de Antero de Quental, explorou-se uma solução diferente adotando o **modelo 17**, que permitirá albergar dois sentidos de trânsito.

A proposta para a Rua de Damião de Góis pretende trazer uma nova dinâmica e vivência do espaço público, tirando partido do espaço disponível nesta rua. Tendo em conta que é umas das ruas mais largas da cidade e se situa numa zona onde os espaços verdes escasseiam, procurou-se retirar espaço à mobilidade viária para maximizar as áreas permeáveis e criar oportunidades de recreio e estadia. A classificação deste eixo como eixo urbano estruturante dita a eliminação de grande parte do estacionamento, o que possibilita um aumento significativo da permeabilidade da rua através da transformação de parte da rua num jardim linear. Esta proposta pressupõe a revisão da arborização e a supressão de duas vias de trânsito que permitirá a inclusão de um alinhamento múltiplo de árvores de copa larga e muito larga, destacando-se a inclusão de uma solução de SUDS. Esta solução permitirá fazer face a episódios de grande precipitação através da acumulação temporária da água, permitindo uma melhor drenagem superficial das águas. Destaca-se, também, que se considerou pertinente abordar em conjunto com a rua de Damião de Góis um troço da rua do Monte Pedral e a rua do Sport Comércio e Salgueiros, devido a questões de mobilidade viária e de remate urbanístico. Estas ruas são classificadas como estreita e muito estreita, respetivamente, e a proposta de intervenção destas ruas permite ilustrar outras soluções de arborização de ruas com exiguidade de espaço. No troço da rua do Monte Pedral explorou-se um alinhamento unilateral de árvores de copa média-larga, que é possível devido ao afastamento das árvores às fachadas e à presença de apenas uma via de trânsito. De forma excecional, na rua do Sport Comércio e Salgueiros propõe-se, também, um alinhamento unilateral, mas com o cuidado em utilizar árvores de pequena dimensão e que não cresçam demasiado em largura.

Figura 164 – Ilustração comparativa para a Rua de Damião de Góis



Situação existente



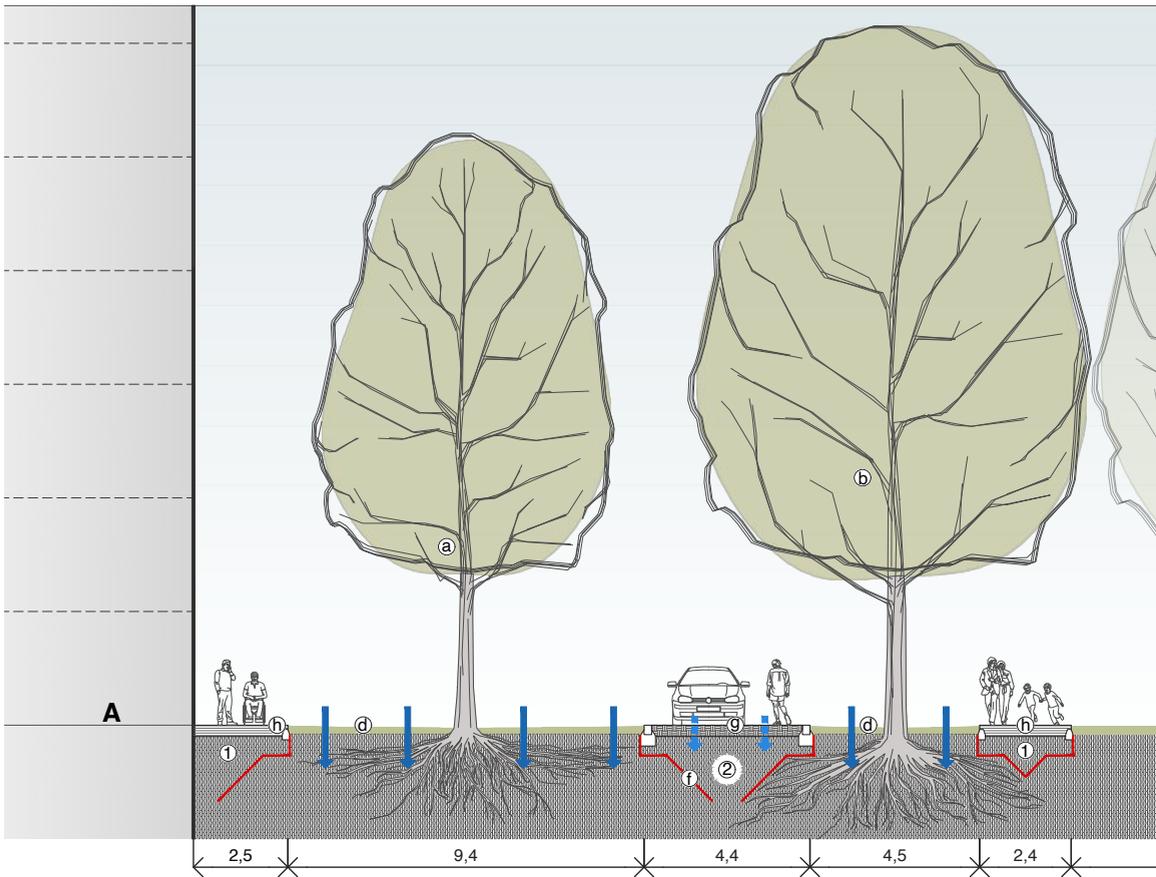
Proposta de intervenção



Figura 165 – Vista planimétrica da situação existente da Rua de Damião de Góis



Figura 166 – Vista planimétrica da proposta para a Rua de Damião de Góis



Espaço da arborização

- Ⓐ Árvores de copa média-larga (tipo *Melia azedarach*, *Betula pubescens* ssp. *celtibérica*, etc.)
- Ⓑ Árvores de copa larga (tipo *Fraxinus angustifolia*, *Quercus palustris*, etc.)
- Ⓒ Árvores de copa muito larga (tipo *Platanus acerifolia*, *Platanus orientalis*, *Populus alba*, etc.)
- Ⓓ Revestimento herbáceo-arbustivo ou inerte (permeável)
- Ⓔ Sistemas urbanos de drenagem sustentável (SUDS)
- Ⓕ Barreira que separa a zona radicular das estruturas construídas e infraestruturas

Espaço pedonal

- Ⓖ Pavimento rugoso (semi-permeável)
- Ⓗ Pavimento liso
- ⓫ Infraestruturas (ex.: eletricidade, telecomunicações, fornecimento de água, etc.)

Espaço viário

- Ⓛ Pavimento viário
- Ⓛ Pavimento para ciclovia
- ⓫ Infraestruturas (ex.: águas pluviais, saneamento, etc.)

Permeabilidade

- ▬▬▬▬ Semi-permeabilidade
- ▬▬▬ Permeabilidade máxima

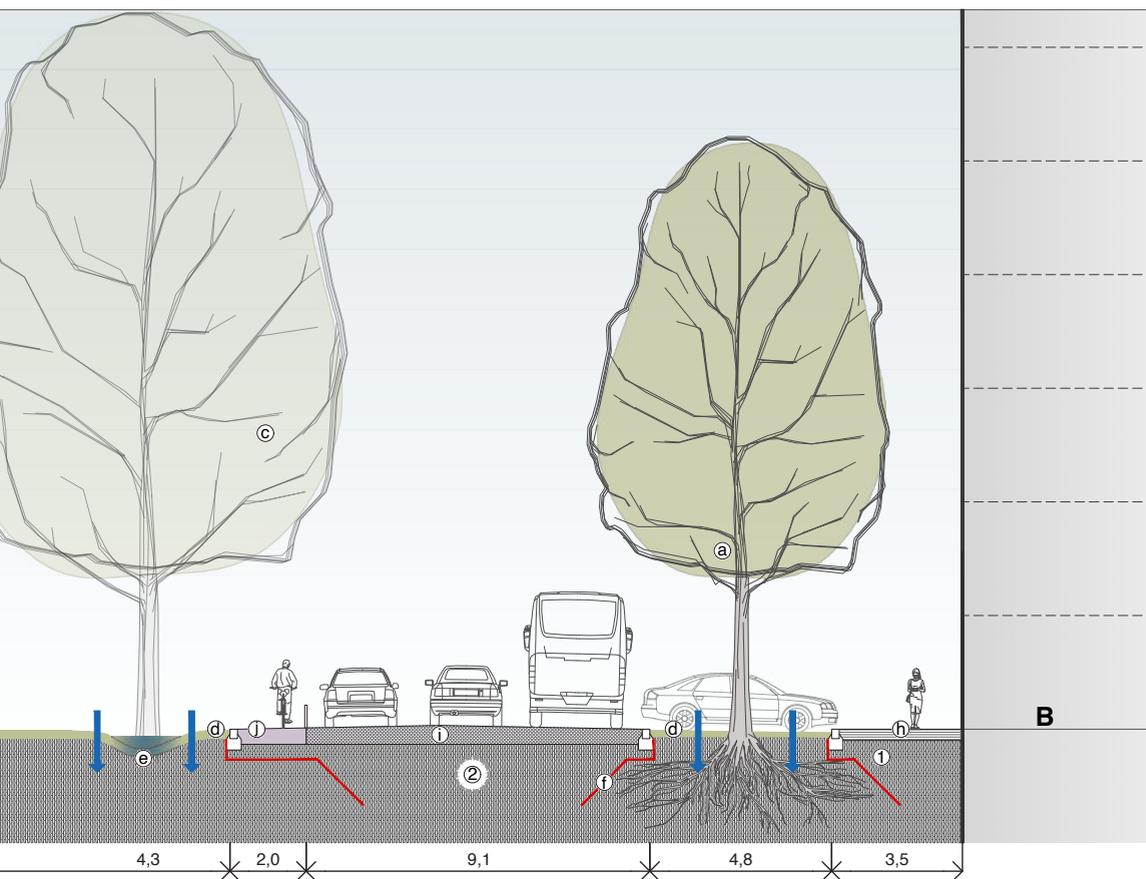


Figura 167 – Corte da proposta para a Rua de Damião de Góis



Figura 168 – Visualizações da proposta para a Rua de Damião de Góis

8. Conclusão e reflexões finais

Este plano pretende contribuir para o desenvolvimento da arborização das ruas do Porto e da promoção da *floresta urbana*, sugerindo um conjunto de soluções abrangentes e flexíveis, aplicáveis à generalidade das ruas. Toda a reflexão assenta na melhor articulação possível entre o espaço disponível na rua e o espaço necessário para a árvore, procurando corresponder classes de largura de rua e classes de largura da copa das árvores. Todos os modelos formulados pressupõem, com alguma margem de segurança, a observação dos limites entre o espaço público da rua e propriedades adjacentes, assim como a garantia dos fluxos vitais da rua (circulação pedonal, acesso às propriedades adjacentes, circulação e operação de veículos de emergência).

Existem inúmeros fatores que vão influenciar a escolha do modelo mais adequado, em diferentes fases do projeto de arborização. Para a orientação numa fase mais inicial, terá de se aferir a largura da rua ao longo de todo o troço a intervencionar, de modo a conseguir qualificá-lo corretamente como rua estreita (10–14m), rua média (14–18m), rua larga (18–26m) ou rua muito larga (≥ 26 m). Nas fases seguintes, há que ter em conta diversos fatores que poderão influenciar o zonamento dos espaços da rua, isto é, a localização, a dimensão e o número de cada tipo de espaço. De um modo geral, a rua divide-se em três espaços principais: o espaço da arborização, o espaço pedonal e o espaço viário. No espaço pedonal e no espaço viário ocorrem os dois principais fluxos de circulação de pessoas e devem ser sempre pensados de forma a garantir uma mobilidade fluída, universal e segura. Sempre que não for possível conciliar o espaço mínimo de arborização com os fluxos mínimos de circulação, isto é, garantir o corredor de emergência e o corredor pedonal, a arborização não será viável.

No âmbito de cada modelo, a seleção da espécie arbórea deve ter em atenção a diversidade arbórea ao nível da cidade, promovendo sempre que possível uma elevada riqueza de espécies, evitando definitivamente o uso daquelas com provado caráter invasor. A diversidade de espécies favorece a resiliência da floresta urbana face a problemas fitossanitários e outros causados por fenómenos climáticos extremos, cada vez mais relevantes no contexto das alterações climáticas (secas, ondas de calor, inundações, etc.). O tipo de malha urbana envolvente (altura do edificado e sua morfologia) e as suas características arquitetónicas podem também inspirar a escolha da espécie arbórea.

De um modo geral, as árvores de maiores dimensões, mais maduras e com maior densidade foliar providenciam serviços de ecossistema a um nível mais significativo e, por isso, recomenda-se a utilização da maior árvore possível em cada rua. Neste âmbito, os modelos de arborização que permitem a utilização da maior árvore são os que preveem alinhamentos centrais, criando ainda oportunidades de maior permeabilidade, biodiversidade e uso de modos suaves de circulação na placa central; em alternativa, estes modelos, quando necessário, também podem viabilizar um maior número de vias de circulação de cada lado da placa central, garantindo sempre a presença da maior árvore possível.

O exercício dos protótipos de intervenção sugere como a organização do espaço das ruas arborizadas deve ocorrer, aplicando os modelos de arborização a casos reais. Ruas arborizadas funcionais exigem que o espaço da arborização tenha um papel lide-rante na organização do espaço, procurando sempre respeitar e otimizar os principais canais de circulação.

Atualmente, tem-se assistido a um condicionamento cada vez maior do espaço disponível para o automóvel nas ruas, diminuindo a largura das vias de trânsito, o número de vias e a quantidade de estacionamentos. Em alternativa, procura-se reservar espaço para canais de mobilidade suave e/ou transportes coletivos, privilegiando estes métodos de deslocação em detrimento do automóvel particular. À medida que os modos de mobilidade suave ganham predominância nas deslocações urbanas, o espaço viário deve evoluir no sentido da sua simplificação e redução. As propostas de intervenção procuraram sempre privilegiar estes modos de mobilidade e propor a redução substancial das oportunidades de estacionamento automóvel. Esta visão também se encontra claramente refletida no atual PDM do Porto. São, no entanto, mudanças que exigem um período de transição e ajuste, desejando-se que ocorram durante os primeiros 20 a 30 anos da vigência do plano. Nesta perspetiva, foram explorados diversos cenários com diferentes oportunidades de articulação entre o espaço da arborização, a mobilidade pedonal, a mobilidade viária e o estacionamento.

O espaço da arborização é concebido como o mais favorável para o acolhimento e desenvolvimento da árvore na rua, devendo ser o mais permeável, o mais fértil e o mais biodiverso. As faixas permeáveis contínuas e/ou caldeiras de dimensão significativa potenciam habitat para seres vivos no solo e no subsolo, contribuindo assim para o aumento da biodiversidade e para as condições favoráveis à vida das árvores. Neste contexto, propõem-se também revestimentos subarbustivos e herbáceos vivazes para as suas faixas contínuas, os quais, para além de promoverem a interceção e infiltração da água, contribuem para o aumento da biodiversidade, para a dinâmica sazonal e consequente qualidade estética da rua. Quando o estacionamento coincide com o espaço da arborização, o pavimento a utilizar deve, impreterivelmente, garantir a maior permeabilidade possível (ex. calçadas de junta seca). De forma a ajudar o desenvolvimento do sistema radicular podem ser experimentadas soluções que visem garantir a disponibilidade de solo fértil abaixo do nível da rua; contudo, estas soluções dependentes da introdução de novos materiais e estratégias construtivas (ex. “root cells”) carecem de um estudo mais aprofundado dos seus benefícios a médio-longo prazo, nomeadamente sobre a interferência noutros fatores que não foram suficientemente abordados nesta fase do trabalho. Estas soluções deverão ser oportunamente estudadas e aprofundadas em sede de projetos de execução.

As áreas urbanas com maior proporção de área permeável estão também associadas a maiores benefícios ambientais, especialmente no que diz respeito à regulação hidrológica e oportunidades para a biodiversidade; neste âmbito, é fundamental maximizar a área permeável, sobre a forma de áreas ajardinadas na placa central ou nos passeios, e/ou a possibilidade de recurso a sistemas urbanos de drenagem sustentável (SUDs). Do mesmo modo, deve privilegiar-se a utilização de faixas permeáveis contínuas para a implantação das árvores, em detrimento de caldeiras individualizadas. Também neste contexto, uma árvore de copa mais larga e densa poderá ter um papel significativo na interceção da precipitação, mitigando os efeitos de episódios torrenciais; esta situação é particularmente eficiente se a árvore for perenifólia, a qual pode excecionalmente ser usada em espaços da rua onde não haja problema de bloqueio permanente de luz às fachadas.

O plano de arborização tem como premissa a minimização das operações de manutenção num período de 20 a 30 anos após implantação. Devido à falta de oportunidade de espaço na generalidade das ruas, os projetos de arborização apresentados recorrem

maioritariamente a espécies e/ou variedades cultivadas de copa estreita, mais adequadas à largura das ruas em estudo. As árvores mais comuns, e que têm demonstrado boa adaptação e desempenho, nas ruas da cidade do Porto são espécies de maior porte, não sendo, contudo, adequadas ao espaço disponível na maioria das ruas da cidade. Em casos excepcionais, podem ser utilizadas árvores de maior porte em ruas sem espaço para as acolher em crescimento livre, desde que seja garantida uma manutenção regular e sustentável, sobretudo no âmbito de podas que minimizem as interferências com as fachadas/ limites da rua.

Quando a nova arborização atingir os 20–30 anos após a sua implantação recomenda-se que se confronte quais os custos de manutenção que a arborização exigirá no futuro com os benefícios que esta retornará à cidade. Esta análise custo-benefício deve ser feita de forma criteriosa, não descurando os serviços de ecossistema que as árvores na sua maturidade podem oferecer. A par disso, recomenda-se que as análises de risco sejam mais regulares conforme o amadurecimento da arborização de arruamento, devido à grande proximidade à circulação de pessoas e de veículos. Análises e vistorias anuais podem ser benéficas para detetar problemas fitossanitários de forma atempada e devem ser realizadas em árvores com maiores riscos, ou seja, que possam causar maiores danos para pessoas e bens, como é o caso das árvores em situação de arruamento.

Os protótipos de intervenção apresentados resultam de uma abordagem holística e integradora de diversos fatores relevantes para o processo de decisão, não sendo cada um *per se* suficiente para determinar a solução adotada. Salienta-se a importância de atender em qualquer intervenção nas ruas à observação fundamental de aspetos conceptuais e compositivos, tais como equidade/simetria, coerência, unidade, metabolismo ecológico e carácter histórico. As propostas de intervenção apresentadas não pretendem ser uma resposta única, definitiva e fechada, mas sim constituir ensaio e inspiração para uma rede de ruas arborizadas com melhor desempenho integrado e sustentável no ecossistema urbano da cidade do Porto.

9. Referências

- Abhijith, K. V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., ... & Pulvirenti, B. (2017). *Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review*. *Atmospheric Environment*, 162, 71-86.
- Ajuntament de Barcelona. (2009). *Las Ramblas*. [Brochura]
- Ajuntament de Barcelona. (2017). *Trees for life: Master Plan for Barcelona's Trees 2017-2037*. Àrea d'Ecologia Urbana, Ajuntament de Barcelona. <https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/sites/default/files/Pladirector-arbrat-barcelona-ENG.pdf>
- Alegria, C.M.M. (2018). *Floresta urbana: a árvore certa para o sítio certo, um caso de estudo para a cidade de Castelo Branco*. Centro de Estudos de Recursos Naturais, Ambiente e Sociedade (CERNAS), Instituto Politécnico de Castelo Branco, Escola Superior Agrária, Quinta da Senhora de Mércules, Castelo Branco, Portugal.
- Andersson, E., McPhearson, T., Kremer, P., Gomez-Baggethun, E. & Haase, D. (2015) Scale and context dependence of ecosystem service providing units. *Ecosystem Services* 12 (2015) pp.157-164. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.08.001>
- André Bryant Jeunes Plants. (2022). *André Bryant Jeunes Plants*. <https://www.andre-briant.fr/en/> (consultado em 13 de janeiro de 2022).
- Andresen, T. & Marques, T. P. (2001). *Jardins Históricos do Porto*. Edições INAPA. Lisboa.
- ASPECT Studios and Tree Logic. (2011). *Urban Forest Diversity Guidelines – Tree Species Selection Strategy for the City of Melbourne*. City of Melbourne.
- Aviso n.º 14465/2017 de 30 de novembro. Diário da República n.º 231/2017, Série II. Município de Lisboa. Lisboa.
- Ayuntamiento de Madrid. (2018). *Plan Director del Arbolado Viário de la Ciudad de Madrid*. Plan de Infraestrutura Verde y Biodiversidade. Madrid. <https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/ZonasVerdes/ToDoSobre/PlanInfraestructuraVerdeYBiodiversidad/PlanesDirectores/Plan%20Director%20del%20Arbolado%20Viario.pdf>
- Bartens, J., Day, S. D., Harris, J. R., Dove, J. E., & Wynn, T. M. (2008). *Can Urban Tree Roots Improve Infiltration through Compacted Subsoils for Stormwater Management?* *Journal of Environmental Quality*, 37(6), 2048–2057. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0117>
- Benevolo, L. (1978). *Historia de la arquitectura moderna*. 3a edição. Editorial Gustavo Gili, Espanha.
- Berland, A., Shiflett, S. A., Shuster, W. D., Garmestani, A. S., Goddard, H. C., Herrmann, D. L., & Hopton, M. E. (2017). *The role of trees in urban stormwater management*. *Landscape and Urban Planning*, 162, 167–177. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.02.017>
- Borges Pereira, V. e Queirós J. (2012). *Na modesta cidadezinha – gênese e estruturação de um bairro de casas económicas do Porto [Amial, 1938-2010]*. Edições Afrontamento, Porto.
- Brasche, J., Hausladen, G., Maderspacher, J., Schelle, R., Zolch, T. (2020). *Leitfaden für klimaorientierte Kommunen in Bayern – Handlungsempfehlungen aus dem Projekt Klimaschutz und grüne Infrastruktur in der Stadt am Zentrum Stadtnatur und Klimaanpassung*. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz. Munique.
- Buccolieri, R., Jeanjean, A. P. R., Gatto, E., & Leigh, R. J. (2018). *The impact of trees on street ventilation, NOx and PM2.5 concentrations across heights in Marylebone Rd street canyon, central London*. In *Sustainable Cities and Society* (Vol. 41, pp. 227–241). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.05.030>
- Câmara Municipal de Lisboa. (2018). *Lisboa: o Desenho da Rua – Manual de Espaço Público*. Lisboa. ISBN 978-972-8403-46-1
- Câmara Municipal do Porto (CMP) (2018a). *Revisão do Plano Diretor Municipal do Porto – Suporte Biofísico e Ambiente / Estrutura Ecológica e Biodiversidade: Relatório de Caracterização e Diagnóstico*. Porto: Câmara Municipal do Porto
- Câmara Municipal do Porto (CMP) (2018b). *Revisão do Plano Diretor Municipal do Porto – Suporte Biofísico e Ambiente / Clima e Ambiente Urbano: Relatório de Caracterização e Diagnóstico*. Porto: Câmara Municipal do Porto
- Câmara Municipal do Porto (CMP) (2020a). *Código Regulamentar do Município do Porto*. Porto: Câmara Municipal do Porto
- Câmara Municipal do Porto (CMP) (2020b). *Plano Diretor Municipal do Porto - Regulamento*. Porto: Câmara Municipal do Porto
- Carvalho, J.P.F. (2009). *A árvore no espaço urbano*. IV Jornadas do Ambiente. 19 junho, CM Vila Pouca de Aguiar.
- City of Sydney. (2013). *Urban Forest Strategy*. Sydney.
- Cowan, R. (2005). *The dictionary of urbanism*. Streetwise Press.
- Daveau, S. (1988). *Comentários e atualização*. In Ribeiro, O.; Lautensach, H.; Daveau, S., *Geografia de Portugal II – O Ritmo Climático e a Paisagem*. Lisboa: Edições João Sá da Costa.

- Decreto-lei n.º 28:468 de 15 de fevereiro de 1938. Diário do Governo n.º 37. Série I. Direção Geral da Fazenda Pública. Lisboa.
- Decreto-lei n.º 92/2019 de 10 de julho. Diário da República n.º 130/2019, Série I. Assembleia da República. Lisboa.
- Decreto Regulamentar n.º 15/2015 de 19 de agosto. Diário da República n.º 161/2015, Série I. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.
- Decreto Regulamentar n.º 5/2019 de 14 de janeiro. Diário da República n.º 9/2019, Série I. Presidência do Conselho de Ministros. Lisboa.
- Department for Transport. (2007). *Manual for streets*. Thomas Telford Publishing, London.
- DeWalle, D. R., & Heisler, G. M. (1983). *Windbreak effects on air infiltration and space heating in a mobile home*. *Energy and Buildings*, 5(4), 279–288. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(83\)90015-4](https://doi.org/10.1016/0378-7788(83)90015-4)
- Di Sabatino, S., Buccolieri, R., Pappaccogli, G., & Leo, L. S. (2015). *The effects of trees on micrometeorology in a real street canyon: Consequences for local air quality*. *International Journal of Environment and Pollution*, 58(1–2), 100–111. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2015.076587>
- Dicke, S. G. (2010). Preservação de árvores em locais de obra. In J. C. Azevedo & A. Gonçalves (eds.), *Manual de Boas Práticas em Espaços Verdes*. Câmara Municipal de Bragança.
- Direção dos Serviços de Habitação – Câmara Municipal do Porto. (1977). Projeto para a Associação de Moradores da Zona do Campo Alegre: Bairro de Guerra Junqueiro. Arquivo Municipal do Porto. <http://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/643583/?q=bairro+guerra+junqueiro>
- Direção dos Serviços de Obras – Câmara Municipal do Porto. (1978). Creche e Jardim Infantil, Sede e Minimercado da Associação dos Moradores dos Combatentes: planta de localização. Arquivo Municipal do Porto. <http://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/643681/>
- Dobson, M. (1995). Tree root systems. *Arboriculture Research and Information Note 130/95/ARB*. Arboricultural Advisory and Information Service, Farnham.
- Dwyer, J.F., McPherson, E.M., Schroeder, H.W. & Rowntree, R.A. (1992). *Assessing the benefits and costs of the urban forest*. *Journal of Arboriculture* 18(5): 227-234. DOI:10.48044/jauf.1992.045
- Ebben. (2022). *Wide range of trees and shrubs | Ebben Nurseries*. <https://www.ebben.nl/en/> (consultado em 13 de janeiro de 2022).
- Ellison, M.J. (2005). *Quantified Tree Risk Assessment Used in the Management of Amenity Trees*. *Arboriculture & Urban Forestry (AUF)* March 2005, 31 (2) 57–65; DOI: <https://doi.org/10.48044/jauf.2005.007>
- Embrén, B., Alvim, B.-M., Stal, O., Orvesten, A. (2009). *Planting Beds in the City of Stockholm: A Handbook*. City of Stockholm. Estocolmo.
- Exterior Architecture. (2019). *Urban trees and the air we breathe*. <https://www.exteriorarchitecture.com/news/blog-post-title-one-7renl> Consultado em 1 de setembro de 2021.
- Farinha-Marques, P.; Alves, P.; Fernandes, C.; Guilherme, F.; Gonçalves, C. & Araújo, R. (2023). *Espaços naturais e espaços verdes urbanos do Porto: Orientações para a definição da Estrutura Ecológica Municipal*. Porto: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. ISBN 978-989-35015-4-2.
- Fernandes, C.O., Martinho da Silva, I., Teixeira, C.P. & Costa, L. (2019). *Between tree lovers and tree haters. Drivers of public perception regarding street trees and its implications on the urban green infrastructure planning*. *Urban Forestry & Urban Greening* 37, pp 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.014>
- Fernandes, J. (1989). *A Foz – Entre o Rio, o Mar e a Cidade*. Edição conjunta de “O Progresso da Foz”, da Associação de Cultura e Turismo da Foz (Nevogilde e Foz do Douro) e das Juntas de Freguesia de Foz do Douro e de Nevogilde. Lello & Irmão – Porto.
- Forrest, M., & Konijnendijk, C. (2005). *A history of urban forests and trees in Europe*. In Konijnendijk, C., Nilsson, K., Randrup, T., & Schipperijn, J. (eds.), *Urban forests and trees* (pp. 23-48). Springer.
- Georgia Forestry Commission (s.d.). *Where Are My Trees' Roots?* [Brochura].
- Giovani, B. (1991). *Impact of planted areas on urban environmental quality: A review*. *Atmospheric Environment. Part B, Urban Atmosphere*, 25(3), 289–299. [https://doi.org/10.1016/0957-1272\(91\)90001-U](https://doi.org/10.1016/0957-1272(91)90001-U)
- Girouard, M. (1985). *Cities & people: a social and architectural history*. Yale University Press.
- Hillier Nurseries. (2022). *Hillier Garden Centres*. <https://www.hillier.co.uk/> (consultado em 14 de janeiro de 2022).
- Hobhouse, P., & Edwards, A. (2020). *The story of gardening*. Princeton Architectural Press.
- IPCC (2015). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> (consultado em 1 de setembro de 2021).
- Jeanjean, A., Buccolieri, R., Eddy, J., Monks, P., & Leigh, R. (2017). *Air quality affected by trees in real street canyons: The case of Marylebone neighbourhood in central London*. *Urban Forestry and Urban Greening*, 22, 41–53. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.01.009>
- Jellicoe, G. A., & Jellicoe, S. (1995). *The landscape of man: shaping the environment from prehistory to the present day*. Thames and Hudson.

- Jian, Z., Bo, L., & Mingyue, W. (2018). *Study on windbreak performance of tree canopy by numerical simulation method*. Journal of Computational Multiphase Flows, 10(4), 259–265. <https://doi.org/10.1177/1757482x18791901>
- Kravčík M, Pokorný, Kohutiar J, Kováč M, Tóth E. (2007). *Water for the Recovery of the Climate – A New Water Paradigm*. People and Water NGO, Association of Towns and Municipalities of Slovakia, ENKI and the Foundation for the Support of Civic Activities.
- Lamas, J. M. (2000). *Morfologia urbana e desenho da cidade*. 2ª edição. Fundação Calouste Gulbenkian, Fundação para a Ciência e a Tecnologia. Lisboa.
- Lawrence, H. W. (2006). *City trees: A historical geography from the Renaissance through the nineteenth century*. University of Virginia Press.
- Lei n.º 53/2012 de 5 de setembro. Diário da República n.º 172/2012, Série I de 10 de outubro de 2012. Assembleia da República. Lisboa.
- Lei n.º 59/2021 de 18 de agosto. Diário da República n.º 160/2021, Série I de 14 de setembro de 2021. Presidência do Conselho de Ministros/Economia e Transição Digital. Lisboa.
- Lei n.º n.º92/2019 de 10 de julho. Diário da República n.º130/2019, Série I de 10 de julho de 2019. Presidência do Conselho de Ministros/ Ambiente e Transição Energética. Lisboa.
- Lopes, A., Oliveira, S., Fragoso, M., Andrade, J. A., & Pedro, P. (2009). *Wind Risk Assessment in Urban Environments: The Case of Falling Trees During Windstorm Events in Lisbon*. In K. Střelcová, C. Mátyás, A. Kleidon, M. Lapin, F. Matejka, M. Blaženec, J. Škvarenina, & J. Holécý (Eds.), *Bioclimatology and Natural Hazards* (pp. 55–74). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8876-6_5
- Lynch, K. (2011). *A imagem da cidade*. Edições 70, Lisboa.
- Maimaitiyiming, M., Ghulam, A., Tiyip, T., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Haliik, Ü., Sawut, M., & Caetano, M. (2014). *Effects of green space spatial pattern on land surface temperature: Implications for sustainable urban planning and climate change adaptation*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 89, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.12.010>
- Markevych, I., Schoierer, J., Hartig, T., Chudnovsky, A., Hystad, P., Dzhambov, A. M., de Vries, S., Triguero-Mas, M., Brauer, M., Nieuwenhuijsen, M. J., Lupp, G., Richardson, E. A., Astell-Burt, T., Dimitrova, D., Feng, X., Sadeh, M., Standl, M., Heinrich, J., & Fuertes, E. (2017). *Exploring pathways linking greenspace to health: Theoretical and methodological guidance*. Environmental Research, 158, 301–317. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.06.028>
- Mballo, S., Herpin, S., Manteau, M., Demotes-Mainard, S., & Bournet, P. E. (2021). *Impact of well-watered trees on the microclimate inside a canyon street scale model in outdoor environment*. In Urban Climate (Vol. 37). <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100844>
- Mohammed, Y., & Salman, A. (2018). *Effect of urban geometry and green area on the formation of the urban heat island in Baghdad city*. MATEC Web of Conferences, 162, 1–9. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816205020>
- Moreira, J. (2008). *Árvores e Arbustos em Portugal*. Argumentum. Lisboa. ISBN: 978-972-8479-59-0
- Mullaney, J., Lucke, T., & Trueman, S. J. (2015). *A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments*. In Landscape and Urban Planning (Vol. 134, pp. 157–166). <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.013>
- Nesbitt, L., Hotte, N., Barron, S., Cowan, J., Sheppard, S.R.J. (2017). *The social and economic value of cultural ecosystem services provided by urban forests in North America: A review and suggestions for future research*. Urban Forestry & Urban Greening 25, pp.103–111. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.05.005>
- Ng, E., Chen, L., Wang, Y., & Yuan, C. (2012). *A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong*. Building and Environment, 47(1), 256–271. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.014>
- Nowak, D.J. & Dwyer, J.F. (2007). *Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems*. In: Kuser, J.E. (eds) Handbook of Urban and Community Forestry in the Northeast. Springer, Boston, MA. DOI: 10.1007/978-1-4020-4289-8_2
- Oke, T. R. (1988). *Street design and urban canopy layer climate*. Energy and Buildings, 11(1–3), 103–113. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6)
- Oke, T., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. (2017). *Urban Climates*. Cambridge: Cambridge University Press. DOI:10.1017/9781139016476
- Pereira de Oliveira, J. M. (1973). *O espaço urbano do Porto. Condições naturais e desenvolvimento*. Dissertação de doutoramento em Geografia apresentada na Universidade de Coimbra. Instituto da Alta Cultura, Coimbra.
- Pokorný, J.D. (1992) *Urban Tree Risk Management, A Community Guide to Program Design and Implementation*, USDA Forest Service Northeastern Area State and Private Forestry.
- Portaria n.º 135/2020 de 2 de junho. Diário da República n.º 107/2020, Série I. Administração Interna. Lisboa.
- Prioleau, D. (2010). *Do Mature Street Trees Pose a Greater Hazard Risk Across Socioeconomic Lines ?* Middle States Geographer, 43, 16–25.
- Roston-Szeryńska, E. (2019) *The protection of urban trees and the perceived safety hazard*. Sustainable Development Application 4, 2013, pp-51–65
- Roy, S., Byrne, J. & Pickering, C. (2012). *A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones*. Urban Forestry & Urban Greening, 11 (4): 351-363. DOI:10.1016/j.ufug.2012.06.006

- Salmond, J. A., Tadaki, M., Vardoulakis, S., Arbuthnott, K., Coutts, A., Demuzere, M., Dirks, K. N., Heaviside, C., Lim, S., MacIntyre, H., McInnes, R. N., & Wheeler, B. W. (2016). Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 15(Suppl 1). <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0103-6>
- Sanders, J. & Grabosky, J. (2014) *20 years later: Does reduced soil area change overall tree growth?*. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13, 295-303
- Santiago, J. L., Buccolieri, R., Rivas, E., Sanchez, B., Martilli, A., Alonso, R., & Martín, F. (2019). On the influence of trees on ventilation of a real street in Pamplona (Spain). 19th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Harmo 2019, 1–20.
- Siddique, M. A., Dongyun, L., Li, P., Rasool, U., Khan, T. U., Farooqi, T. J. A., Wang, L., Fan, B., & Rasool, M. A. (2020). Assessment and simulation of land use and land cover change impacts on the land surface temperature of Chaoyang District in Beijing, China. *PeerJ*, 2020(3), 1–26. <https://doi.org/10.7717/peerj.9115>
- Shashua-Bar, L., & Hoffman, M. E. (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street. *Energy and Buildings*, 31(3), 221–235. [https://doi.org/10.1016/s0378-7788\(99\)00018-3](https://doi.org/10.1016/s0378-7788(99)00018-3)
- Soares, A.L., Rego, F.C., McPhearson, E.G., Simpson, J.R., Peper, P.J. & Xiao, Q. (2011). Benefits and costs of street trees in Lisbon, Portugal. *Urban Forestry and Urban Greening* 10, pp 69-78. DOI:10.1016/j.ufug.2010.12.001
- Soccio, D. J. (2015). *Archetypes of wisdom: an introduction to philosophy*. Cengage Learning.
- Song, X.P., Tan, P.Y., Edwards, P. & Richards, D. (2018). *The economic benefits and costs of trees in urban forest stewardship: A systematic review*. *Urban Forestry & Urban Greening* 29, pp 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.11.017>
- TDAG – Trees and Design Action Group. (2012). *Trees in the Townscape: A Guide for Decision Makers*. Reino Unido. <https://www.tdag.org.uk/trees-in-the-townscape.html>
- TDAG – Trees and Design Action Group. (2014). *Trees in Hard Landscapes: A Guide for Delivery*. Reino Unido. <https://www.tdag.org.uk/trees-planning-and-development.html>
- TDAG – Trees and Design Action Group. (2018). *Tree Species Selection for Green Infrastructure: A Guide for Specifiers*. Reino Unido. <https://www.tdag.org.uk/tree-species-selection-for-green-infrastructure.html>
- TDAG – Trees and Design Action Group. (2021). *Trees, Planning and Development: A Guide for Delivery*. Reino Unido. <https://www.tdag.org.uk/trees-planning-and-development.html>
- Telles Ferreira, A.; (1830–1895). Carta topográfica da cidade do Porto de 1892. Arquivo Histórico do Município do Porto. Consultado em: https://mipweb.cm-porto.pt/MuniSIG/MuniSIGViewer/index.html?configBase=https://mipweb.cm-porto.pt/MuniSIG/REST/sites/CARTOGRAFIA1892/viewers/Cartografia_1892/virtualdirectory/Resources/Config/Default
- Trowbridge, P.J., and N.L. Bassuk. 2004. *Trees in the Urban Landscape*. Wiley, Hoboken, New Jersey, U.S.
- Tyrväinen, L., Pauleit, S., Seeland, K. & de Vries, S. (2005). *Benefits and uses of urban forests and trees*. *Urban Forests and Trees*, 34: pp 81–114. DOI: 10-1007/3-540-27684-X_5.
- Urban, J. (1992). *Bringing Order to the Technical Dysfunction Within the Urban Forest*. *Journal of Arboriculture* 18(2), 85–90.
- Valença, M. (2020). Um Guia de Arborização Bioclimática para a Cidade do Porto. Relatório de Estágio – Mestrado em Riscos, Cidades e Ordenamento do Território da Faculdade de Letras da Universidade do Porto. <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/130336>
- Van den Berk Nurseries. (2022). *Tree and shrub specialists | Van den Berk Nurseries*. <https://www.vdberk.com>. (consultado em 12 de janeiro de 2022).
- Ville de Lausanne. (2019). *Stratégie municipale pour le patrimoine arboré et forestier lausannois*. Lausanne.
- Ville de Paris. (2022). *Service l'arbe à Paris*. <https://www.paris.fr/pages/l-arbre-a-paris-199> (consultado em 27 de janeiro de 2022).
- Wageningen University & Research (2021). *Root System Drawings [image collection]*. <https://images.wur.nl/digital/collection/coll13> (consultado em 2 de fevereiro de 2022).
- Zhang, L., Zhan, Q., & Lan, Y. (2018). Effects of the tree distribution and species on outdoor environment conditions in a hot summer and cold winter zone: A case study in Wuhan residential quarters. *Building and Environment*, 130, 27-39. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.014>

10. Anexos

10.1. Lista de espécies e cultivares, existentes nas ruas do Porto, consideradas como inadequadas para árvore de arruamento

Nome Científico	Nome Comum	Critérios		
		Caráter invasor	Altura expectável inferior a 10m (após 20-30 anos)	Inconveniente para o espaço público (fruto, flor, etc.)
<i>Acacia dealbata</i>	Mimosa	●	●	
<i>Acacia longifolia</i>	Acácia-de-espigas	●	●	
<i>Acer negundo</i>	Bordo-negundo	●		
<i>Acer negundo</i> 'Variegatum'	Bordo-negundo	●		
<i>Acer palmatum</i>	Ácer-do-Japão		●	
<i>Albizia julibrissin</i>	Albícia	●	●	
<i>Arbutus unedo</i>	Medronheiro		●	
<i>Buxus sempervirens</i>	Buxo		●	
<i>Callistemon viminalis</i>	Limpa-garrafas		●	
<i>Camellia japonica</i>	Camélia		●	●
<i>Camellia reticulata</i>	Camélia		●	●
<i>Castanea sativa</i>	Castanheiro			●
<i>Citrus aurantium</i>	Laranjeira-azedada			●
<i>Citrus limon</i>	Limoeiro		●	●
<i>Citrus reticulada</i> 'Blanco'	Tangerineira		●	●
<i>Citrus x sinensis</i>	Laranjeira-doce		●	●
<i>Cordyline australis</i>	Fiteira		●	
<i>Cornus florida</i>	s/inf.		●	
<i>Corylus avellana</i>	Aveleira		●	
<i>Crataegus monogyna</i>	Pilriteiro		●	
<i>Diospyros kaki</i>	Diospireiro			●
<i>Dracaena draco</i>	Dragoeiro		●	
<i>Elaeagnus angustifolia</i>	Árvore-do-paráiso		●	
<i>Eriobotrya japonica</i>	Nespereira		●	●
<i>Erythrina crista-galli</i>	Bico-de-papagaio		●	
<i>Euonymus japonicus</i> 'Aureomarginatus'	Evónimo-do-Japão		●	

Nome Científico	Nome Comum	Critérios		
		Caráter invasor	Altura expectável inferior a 10m (após 20-30 anos)	Inconveniente para o espaço público (fruto, flor, etc.)
<i>Ficus carica</i>	Figueira		●	●
<i>Ficus elastica</i>	Árvore-da-borracha			●
<i>Gleditsia triacanthos</i>	Espinho-da-Virgínia	●		●
<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Sunburst'	Espinho-da-Virgínia	●		●
<i>Hibiscus syriacus</i>	Hibisco		●	
<i>Hibiscus syriacus</i> 'Minerva'	Hibisco		●	
<i>Juglans nigra</i>	Nogueira-negra			●
<i>Juniperus communis</i>	Zimbro-anão		●	
<i>Juniperus oxycedrus</i>	Zimbro		●	
<i>Lagerstroemia indica</i>	Extremosa		●	
<i>Ligustrum japonicum</i>	Alfenheiro	●	●	
<i>Ligustrum japonicum</i> 'Variegatum'	Alfenheiro	●	●	
<i>Ligustrum lucidum</i>	Alfenheiro	●	●	
<i>Ligustrum ovalifolium</i>	Alfenheiro	●	●	
<i>Ligustrum vulgare</i>	Alfenheiro		●	
<i>Magnolia figo</i>	Arbusto-banana		●	
<i>Magnolia stellata</i>	Magnólia-estrela		●	●
<i>Magnolia virginiana</i>	Magnólia		●	●
<i>Magnolia x soulangeana</i>	Magnólia-chinesa		●	●
<i>Malus domestica</i>	Macieira			●
<i>Melaleuca armillaris</i>	Escovilhão		●	●
<i>Morus alba</i>	Amoreira-branca			●
<i>Morus alba</i> 'Pendula'	Amoreira-branca		●	●
<i>Morus kagayamae</i>	s/inf.		●	●
<i>Morus nigra</i>	Amoreira-preta			●
<i>Nerium oleander</i>	Loendro		●	
<i>Photinia glabra</i>	Fotínia		●	
<i>Photinia serrulata</i>	Fotínia		●	
<i>Pittosporum crassifolium</i>	Pitóspero		●	

Nome Científico	Nome Comum	Critérios		
		Caráter invasor	Altura expectável inferior a 10m (após 20-30 anos)	Inconveniente para o espaço público (fruto, flor, etc.)
<i>Pittosporum tobira</i>	Pitóspero		●	
<i>Pittosporum undulatum</i>	Falsa-árvore-do-incenso	●		
<i>Prunus cerasifera</i>	Ameixoeira-de-jardim		●	●
<i>Prunus cerasifera var. atropurpureum</i>	Ameixoeira-de-jardim		●	●
<i>Prunus domestica</i>	Ameixoeira		●	●
<i>Prunus dulcis</i>	Amendoeira		●	
<i>Prunus laurocerasus</i>	Loureiro-real		●	
<i>Prunus lusitanica</i>	Azereiro		●	
<i>Punica granatum</i>	Romãzeira		●	●
<i>Pyrus communis</i>	Pereira-brava			●
<i>Raphiolepis umbellata</i>	s/inf.		●	
<i>Rhapis excelsa</i>	Palmeira-da-China		●	
<i>Rhododendron ponticum</i>	Rododendro		●	
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Falsa-acácia	●		
<i>Salix caprea</i>	s/inf.		●	
<i>Sophora japonica</i> 'Pendula'	Acácia-do-Japão		●	
<i>Tamarix canariensis</i>	Tamargueira		●	
<i>Tamarix gallica</i>	Tamarisco		●	
<i>Tamarix parviflora</i>	Cedro-do-sal		●	
<i>Taxus baccata</i>	Teixo		●	
<i>Viburnum tinus</i>	Folhado		●	
<i>Yucca sp.</i>	n/a.		●	

