

IMPACTO DO DESENHO DA MALHA VIÁRIA NA MOBILIDADE URBANA

BARROS, Ana Paula

MARTINEZ, Luis Miguel

VIEGAS, José Manuel

SILVA, Paulo Cesar

HOLANDA, Frederico

RESUMO

O artigo explora o desempenho de diferentes malhas viárias de modo a apresentar quais variáveis estão mais presentes em cada tipo de malha criando diretrizes para a composição de um índice de caminhabilidade. São utilizados três bairros de Lisboa como estudos de caso: (a) Campo de Ourique – cuja malha é regular – (b) Graça – caracterizado pela irregularidade – e (c) Telheiras – cujo desenho apresenta características contemporâneas. Verificou-se que a malha regular apresenta maior homogeneidade viária, menor índice de conversão e maior média de integração, enquanto a malha contemporânea apresentou o pior desempenho e a malha orgânica, por sua vez, uma posição intermediária.

Palavras-chave: Configuração Espacial, Sintaxe Espacial, Caminhabilidade.

ABSTRACT

The paper analyzes the performance of different street plans to determine which variables are present in each type, as first step to creating a walkability index. Three neighborhoods of Lisbon are used as case studies: (a) Campo de Ourique - with a grid street plan - (b) Graça – with irregular roads - and (c) Telheiras - with a contemporary street plan. It was found that the grid-based street plan has more road homogeneity, a lower straightness index and a higher average integration index. The contemporary street plan performs the worst, while the organic street plan is ranked in the middle.

Keywords: Spatial Configuration, Space Syntax, Walkability.

INTRODUÇÃO

A discussão sobre a mobilidade em grandes centros urbanos tem sido tema recorrente em estudos e pesquisas voltados para os processos de deslocamento dos indivíduos no espaço. No campo disciplinar dos transportes, o foco das abordagens tem sido essencialmente para veículos motorizados, talvez por corresponder mundialmente à maior parte de viagens realizadas em assentamentos humanos de grande porte. Apesar do cenário, as crises energéticas bem como o debate sobre sustentabilidade tem exigido atenção para outras estratégias de deslocamento, incluindo o pedestre, visto que são parte importante do sistema de mobilidade urbana e, segundo Vasconcellos (1998), afetam todos os indivíduos.

Sob tal premissa, o foco em caminhabilidade (*walkability*) contempla os estudos que envolvem a promoção de condições para o desenvolvimento de percursos por parte do pedestre, aprimorando a qualidade do espaço destinado a esse tipo de deslocamento. Se a literatura aponta foco na qualificação do espaço, como exploram Rutz *et al.*, 2007; Rutz *et al.*, 2010; e Lwin e Murayama, 2011, observando as condições físicas de calçadas e passeios, é interesse a investigação explorar variáveis que insiram o viés configuracional (Hillier e Hanson, 1984; Hillier, 1996; Holanda, 2002).

PREMISSAS TEÓRICAS E METODOLÓGICAS

O ato de caminhar no contexto da mobilidade urbana

O ato de caminhar é tão antigo quanto a trajetória humana: existe desde o momento em que se define o tronco evolutivo do que se converteria no *homo sapiens*. O gesto emerge nos primórdios da cronologia histórica tradicionalmente assumida, variando em velocidade conforme as funções motivadoras. É uma expressão do tempo: nas alturas da transição entre o homem nômade e o princípio do sedentarismo que se conformaria com o nascimento urbano, durante a chamada Revolução Neolítica (c. 4.000a.C. a 3.000a.C.; cf. Mumford, 1998; Benévolo, 2003; Kostof, 1998 e 2001; Rotkin, 2012), o caminhar é lento para as atividades de coleta e agricultura, e rápido para as tarefas de caça e domesticação.

Inerente, portanto, à vida humanaⁱ, o gesto de caminhar estabelece a relação diacrônica entre três perspectivas: o espaço percorrido, o tempo despendido, e o princípio físico de movimento, conforme explora Gondim (2013)ⁱⁱ. Ocorre segundo propósitos associados à natureza humana e a ação é (e já foi) realizada pela grande maioria das pessoas ao longo do dia, cotidianamente. Há registros de sua importância não apenas na academia ou estudos médico/científicos, mas também na literatura e filosofia. Gros (2010, p.19), por exemplo, afirma que para Nietzsche “a caminhada ao ar livre foi como que o elemento de sua obra, o acompanhamento permanente de sua escrita”. Acrescenta que Jean-Jacques Rousseau afirmava que apenas quando caminhava conseguia pensar, compor, criar e inspirar-se:

Nunca faço nada senão quando estou a passeio no campo, que é meu gabinete; a aparência de uma mesa, do papel e dos livros me dá tédio, o aparato do trabalho me desanima, se me

sento para escrever não encontro nada e na necessidade de ter uma mente inteligente me leva a perdê-la (Rousseau apud Gros, 2010, p.69).

Do ponto de vista etimológico, "caminhar" deriva de "caminho", verbete oriundo do latim vulgar *camminus* a partir do celta, com significado de "estrada, vereda, via, trilho" (Cunha, 1997, p. 144), assumindo a acepção de deslocar-se, andar. A primeira ocorrência em dicionário na língua portuguesa é de 1813 (Cunha, 1997) e presentemente o significado do verbo "caminhar" amplia-se para a importância de se chegar em algum lugar, com a ideia de ir em frente, prosseguir, evoluir, avançar. Portanto, para esta pesquisa e lançando a prerrogativa de uma licença à escrita acadêmica, assume-se com particular interesse a noção de "avançar", na perspectiva de contribuir para o conhecimento a passos de um caminhante. São passos lentos, mas firmes, em busca do "querer" dos pedestres, assumido aqui como a essência da urbanidadeⁱⁱⁱ esperada para os espaços nas cidades.

Atualmente, discutir o ato de caminhar implica explorar o ponto fulcral da mobilidade urbana, um tema recorrente, exaustivo e, em certa medida, gasto. O crescimento das cidades e as usuais problemáticas resultantes da escala dos assentamentos humanos que progressivamente concentram parte expressiva da população mundial^{iv} têm inviabilizado os serviços públicos de transporte em grande parte do mundo, quando existentes^v. Além disso, com o advento do automóvel pós Revolução Industrial, os deslocamentos a pé têm sofrido um processo de mitificação em prol da comodidade motorizada. Se por um lado ser caminhante assumiu uma espécie de caráter de exceção, como se o caminhar não fizesse parte da lógica natural humana de conduzir seus deslocamentos, por outro os espaços urbanos, muitas vezes, não são concebidos para a perspectiva do pedestre, mas sim do veículo.

Ocorre que os veículos conformados segundo o desenvolvimento das indústrias são uma criação relativamente moderna, conforme aponta Duarte (2006, p. 9):

O automóvel é um hóspede recente na história das cidades. Sua introdução no meio urbano só ocorre efetivamente a partir das primeiras décadas do século XX, quando a cidade já constitui um fato histórico e social de grande relevância. Durante milhares de anos os homens circularam por suas cidades à velocidade do caminhar ou da tração animal. Apesar de tão longa experiência com modos de circulação não-motorizados, não parece uma tarefa fácil conceber, hoje em dia, cidades que funcionem sem o automóvel. Pouquíssimas cidades atuais (pense-se, por exemplo, no caso paradigmático de Veneza) podem prescindir por completo desta ferramenta-chave a serviço da liberdade de movimentação individual autocomandada.

Entretanto, há robustos indícios de que o início do século XXI coloca em questão a necessidade de rever os modos de deslocamento nas cidades, em grande medida devido sacralização do automóvel, vinculado a um significativo apelo e *status*. Os discursos começam a derivar de uma perspectiva que prioriza a velocidade, para outra que, motivado pelos princípios de urbanidade, procura estabelecer uma organização espacial que tenha por foco o pedestre e promova menos velocidade e mais qualidade de vida, por meio da oferta de melhores espaços públicos.

Ocorre que o caminhar é fundamental para a mobilidade urbana, apesar de um generalizado desconhecimento sobre o fato. Em sociedades de forte disparidade social, como a brasileira, há que se incluir a questão de preconceito, uma vez que o caminhar, quando não associado ao lazer, tende a ser assumido como uma rotina de pessoas de renda mais baixa, que não têm condições de ter um veículo próprio. Entretanto, conforme explora Vasconcellos (1998), o ato de caminhar integra a maioria dos deslocamentos, mesmos aqueles que se iniciam dentro dos automóveis (pelos motoristas), uma vez que há sempre a necessidade de se complementar o trajeto realizado sobre quatro rodas (ou mesmo sobre duas rodas, quando usada a bicicleta) até o seu destino final.

Por outro lado, a inerência deste modo de deslocamento à consecução das atividades humanas tem esbarrado em um problema patente (mas não atual)^{vi} e cada vez maior nos grandes centros urbanos: a alteração do cenário construído, que se afasta da escala humana para progressivamente se adequar à escala motorizada. O crescimento das cidades aliado à cultura do consumismo e do *status* tem provocado o uso desmedido dos “veículos de passeio”^{vii} nos centros urbanos de partes do mundo. Com isso, cresce a implantação de infraestrutura viária na ideia equivocada de sustentar a demanda: por outro lado, a infraestrutura pedonal e ciclovária fica negligenciada ou em segundo plano. É neste contexto que a maioria das cidades perde espaço para a escala humana e toma para si a escala motorizada, deixando, portanto, de proporcionar uma vida urbana mais agradável, cujas cidades sejam para pessoas e não para veículos.

Aparentemente, esta mudança de escala pode ser lida quanto às diferentes geometrias e topologias urbanas, compreendendo as formas e as relações entre os elementos constituintes das cidades^{viii}. O que significa explorar como a transição entre as escalas humana e motorizada afetam/podem afetar o ato de caminhar.

A Forma e a Sintaxe Urbana

Diversos pesquisadores, entre eles Ferraz e Torres (2004), acreditam que a configuração urbana condiciona os sistemas de transportes nelas existentes, além de interferir no processo de deslocamento dos indivíduos. Naturalmente existem outros fatores, uma vez que a dinâmica das cidades incorpora uma série de níveis de informações que condicionam o ir e vir no espaço. Ferrari (1991), por exemplo, interpreta o movimento como relacional, o que deriva de estudos da biologia e ecologia, referindo-se ao “estudo das relações humanas, espaciais e temporais, enquanto sejam afetadas por forças seletivas, distributivas e de adaptação ao meio”.

Segundo Hillier (2001), a depender da localização dos elementos estruturantes de um sistema espacial então certas consequências previsíveis afetarão a configuração espacial do ambiente e, portanto, as relações de deslocamento ali processadas. Estes efeitos são bastante independentes dos desejos ou da intenção humana, mas podem ser utilizados pelos seres humanos para alcançarem efeitos espaciais e mesmo sociais.

Significa, portanto, que a possibilidade de manejo da configuração do espaço pode se converter num atributo para a interpretação da mobilidade urbana, uma vez que afetará os

fluxos na cidade. O espaço não é um elemento passivo, é também uma variável independente, ou seja, não só é afetado como também afeta a vida social nele existente.

Por meio de tais pressupostos, emprega-se nesta pesquisa a Teoria da Lógica Social do Espaço, também denominada Teoria da Sintaxe Espacial – doravante SE – (Hillier e Hanson, 1984; Hillier, 1996), que se ampara nos pensamentos sistêmico e estruturalista, derivando da preocupação que, segundo Hillier e Hanson (1984), “[...] as teorias [em arquitetura] têm sido extremamente normativas e pouco analíticas”.

A abordagem contempla técnicas de entendimento e representação do espaço, gera subsídios que permitem ao pesquisador investigá-lo do ponto de vista das articulações urbanas e descreve possibilidades de interação e contatos a partir de possíveis fluxos diferenciados de pessoas ou veículos. Mediante um método e técnicas, a SE estabelece relações entre atributos de duas instâncias: (a) o espaço organizado para fins humanos (escalas do edifício e da cidade); e (b) a estrutura social, os modos de interação entre indivíduos e grupos, clivagens sociais e estruturas de poder (Holanda, 2002).

Na base está a premissa de que para se compreender a cidade ou o edifício, em sua complexidade sociocultural, é necessário compreender as leis subjacentes ao objeto urbano/construído e as que o relacionam à sociedade (cf. Hillier, 2001): (1) as leis do objeto propriamente dito, que lidam com modos pelos quais as construções podem ser agregadas ou entendidas no espaço do ponto de vista volumétrico e espacial; (2) as *leis da sociedade para a forma* urbana, isto é, como a sociedade usa e adapta as leis do objeto para dar forma espacial aos diferentes tipos e padrões de relações sociais; (3) as *leis da forma urbana para a sociedade*, que traduzem como a forma urbana afeta a sociedade, ou seja, as respostas que a forma urbana ou a forma construída dão à sociedade; e, para completar o ciclo, poderia ser acrescentado um quarto tipo de lei: (4) *as da sociedade propriamente dita*, ou da *sociedade-em-si*, sobre as próprias relações sociais como sistemas de arranjos espaciais.

A SE propõe uma relação fundamental entre a configuração do espaço na cidade e o modo como ela funciona. A análise do espaço em relação às suas propriedades configuracionais, ou sintáticas, permite-nos determinar alguns aspectos do funcionamento urbano que outras abordagens não são capazes de explorar.

A teoria oferece um conjunto de ferramentas para a análise configuracional de espaços, no qual são investigados os aspectos de fluxo, circulação e movimento potenciais de pedestres e veículos em cidades e edificações (Hillier e Hanson, 1984). Holanda (2001) acrescenta que a abordagem não é apenas um conjunto de ferramentas, e sim “uma teoria, que implica um método, além de um conjunto de técnicas”.

Dentre estas técnicas, a adotada neste estudo é a axialidade, indicada por trabalhar linearmente com os potenciais de fluxos de movimento em um dado espaço urbano, o que permite interface com aspectos de mobilidade urbana. Esta técnica tem como produto, os chamados mapas axiais, que são parte das etapas do procedimento metodológico, adotado na teoria, descritas abaixo.

(a) Representação Linear – consiste na construção dos segmentos de linha sobre uma determinada base cartográfica, a partir das precisas indicações; (b) Análise do Mapa –

corresponde à análise dos mapas no *software* Depthmap® que gera índices de integração global e local, conectividade, etc.; (c) Correlação – etapa de associação dos dados configuracionais processados com outros de naturezas diversas, permitindo relacionamento e diálogo entre informações; e (d) Simulação – possibilita a simulação para diversas situações.

Os mapas axiais são representados por uma escala cromática, numa gradação de cores quentes a frias (indo da vermelha, laranja, amarela até chegar na azul clara e azul escura). O que significa dizer que quanto mais quente for um eixo mais ele está integrado ao sistema, ou seja, mais fácil é chegar ou se deslocar até ele de qualquer outro eixo do sistema. O contrário também é verdadeiro (Figura 1).

Vale salientar que o índice de integração é um indicador de acessibilidade em que são consideradas as relações entre as partes com o todo, ratificando o lastro sistêmico da teoria. O cálculo ocorre por meio de uma matriz matemática, conforme explica Peponis (1985), com base em exemplo que considera os espaços (a, b) existentes em um complexo edificado (C). Para a escala da cidade a interpretação é idêntica, entendendo-se (a, b) como eixos pertencentes a um sistema urbano (C):

“O complexo edificado C é representado como um grafo de pontos e linhas de conexão.

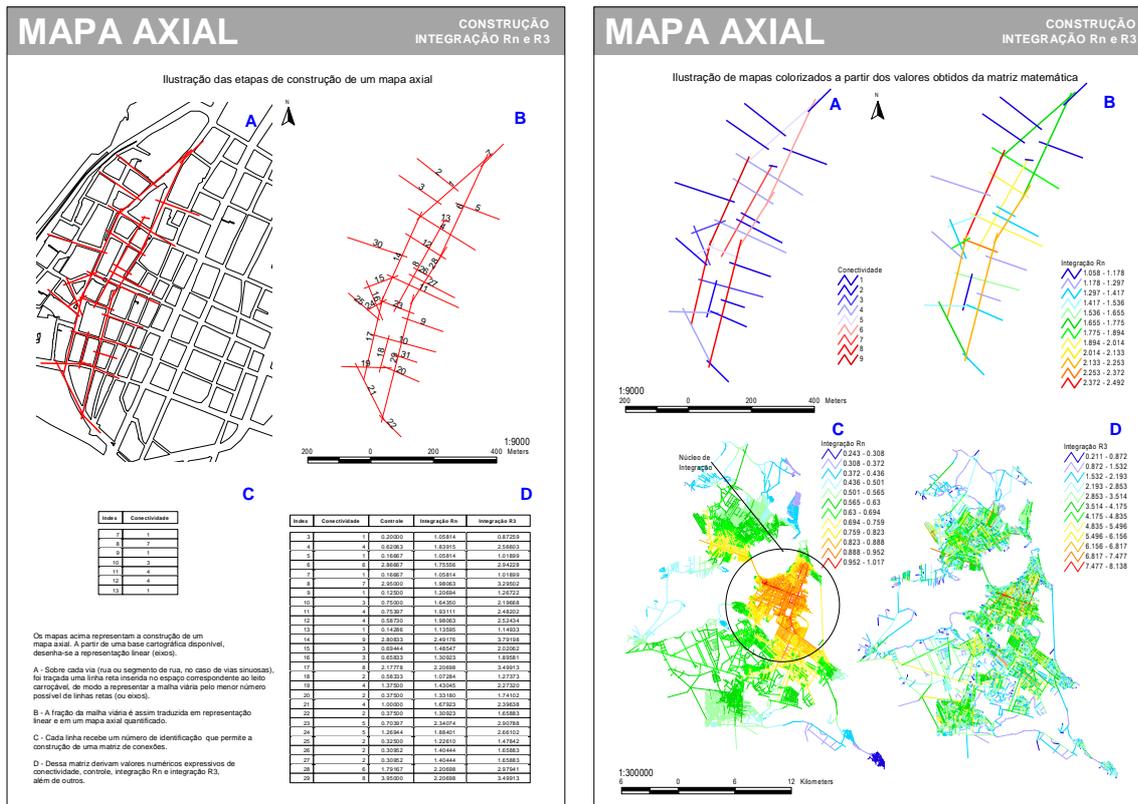


Fig. 1. Ilustração das etapas de produção de um mapa axial para a cidade de Natal (RN). Fonte: Medeiros (2006).

Definição. A profundidade entre dois pontos a, b do complexo C é definida como $D(a, b)$ e é igual ao número mínimo de conexões que precisa ser usada para alcançar b a partir de a , ou de a para b .

A profundidade média de um ponto a em um complexo C é definida pela expressão:

$$MD(a, C) = \sum_{bi \in C} \frac{D(a, bi)}{(k-1)}$$

Onde k = número de pontos em C .

A assimetria relativa (*relative asymmetry*) de um ponto a em um complexo C é definida pela expressão:

$$RA(a, C) = \frac{2[MD(a, C) - 1]}{k - 2}$$

Para qualquer a, C : $0 \leq RA(a, C) \leq 1$

A assimetria relativa real (*real relative asymmetry*) [integração] de um ponto a em um complexo C é definida pela expressão:

$$RRA(a, C) = \frac{RA(a, C)}{RAD(k)}$$

Onde k = número de pontos em C , e:

$$RAD(k) = \frac{6,644k \times \log_{10}(k + 2) - 3,17k + 2}{2k - 3k + 2}$$

A expressão $RAD(k)$ fornece uma aproximação para a média empiricamente obtida de $RA(a, C)$ para complexos de tamanho k . Os valores do RRA variam em torno de 1, de modo que os valores acima de 1 indicam complexos mais profundos que a média e valores abaixo de 1 indicam complexos mais rasos que a média.

A profundidade média, assimetria relativa e assimetria relativa real [integração] de um complexo C como um todo, é obtida pelas médias:

$$MD(C) = \sum_{a \in C} \frac{MD(a, C)}{k}; RA(C) = \sum_{a \in C} \frac{RA(a, C)}{k}; RRA(C) = \sum_{a \in C} \frac{RRA(a, C)}{k}$$

Procedimentos de pesquisa

Tendo em consideração os pressupostos recomendados pelo escopo teórico da investigação, procedeu-se preliminarmente a análise sintática da cidade de Lisboa e das áreas objeto de estudo, a partir da construção da representação linear e do correspondente mapa axial (cf. procedimentos expressos em Barros, 2006 e Medeiros, 2006). Da análise resultaram as variáveis configuracionais discutidas no estudo: (a) *integração*, correspondente ao potencial de acessibilidade topológica de uma via ou do sistema urbano; (b) *conectividade*, compreendendo o número de conexões existentes em uma via ou no sistema urbano; (c) *inteligibilidade*, associada ao grau de compreensão do sistema, a partir da correlação entre os valores de integração e de conectividade; e (d) *sinergia*, produto da correlação entre as medidas globais e locais oriundas do mapa axial (integração global e integração local). Na sequência, para cada arco de via, foram coletados informações geométricas, como: o declive das vias, o índice de compactidade viária e a porcentagem de espaços públicos, configurando assim dois grupos de variáveis a serem exploradas – as *configuracionais* e as *geométricas*.

Em seguida, partiu-se para a *Análise Cluster*^{ix} cujo propósito contemplou a agregação de variáveis semelhantes de modo a identificar em que medida os arcos (vias, *links*) apresentavam características parecidas, e a partir daí, conformar a tipologia dos bairros estudados.

Tais características resultaram nas seguintes variáveis finais, selecionadas do conjunto explorado: (a) *índice de integração* – potencial de movimento; (b) *índice de compactidade viária* – calculado a partir da quantidade de vias/arcos por km²; (c) *declive* – inclinação de cada arco; (d) *largura das calçadas* – obtida levando em conta os obstáculos existentes; (e) *porcentagem de espaço público pelo construído* – oriunda do cálculo do entorno imediato dos arcos (*buffer* de 50 metros da via).

Por fim, de modo a refinar os resultados da *Análise Cluster* e avaliar o impacto da configuração espacial da rede viária na circulação de pedestres, procedeu-se à *Análise do Caminho mais Curto*, na qual simulou-se o menor caminho entre todos os centróides dos arcos/vias/segmentos entre si, a resultar no *Índice de Conversão Viário Médio*, traduzido no nível de retidão das vias, obtidas pela razão entre a distância real das rotas e a distância euclidiana^x entre os correspondentes pontos de origem e destino. Com este índice pretende-se analisar o grau de facilidade de deslocamento, em termos de mudança/conversão de direção, cada malha viária; haja vista o pressuposto teórico no qual Hammer (1999) afirma que “os humanos preferem as rotas mais fáceis àquelas que são labirínticas”, ou seja, preferem aquelas que apresentam menor quantidade de mudanças de direção.

ASPECTOS ANALÍTICOS

A exploração das variáveis resultou da análise dos três cenários elegidos como estudos de caso, tendo em vista a intenção em explorar aspectos de forma urbana afetando as relações de deslocamento na cidade.

Caracterização das Áreas de Estudo

Os estudos de caso consistem em três bairros da cidade de Lisboa - Portugal (Figura 2 e 3), caracterizados por desenhos da malha diferentes, resultantes de processos de ocupação do espaço igualmente peculiares. Campo de Ourique (Figura 4) exemplifica o traçado de significativa regularidade, semelhante ao tabuleiro de xadrez: a malha é rígida e baseia-se numa solução de grelha de forte regularidade, com cruzamentos predominantemente ortogonais. Graça (Figura 5) conforma-se como a estratégia de acomodação do tecido urbano de acordo com as características do sítio físico: ali a irregularidade das ruas resulta da apropriação diacrônica do terreno. Telheiras (Figura 6), por fim, apresenta um desenho derivado das premissas do urbanismo moderno, já transformadas segundo soluções recorrentes nas cidades contemporâneas: grandes vazios, presença de vias secundárias e internas, anéis de circulação, ruas sem saída.



Fig. 2. Localização de Lisboa em Portugal

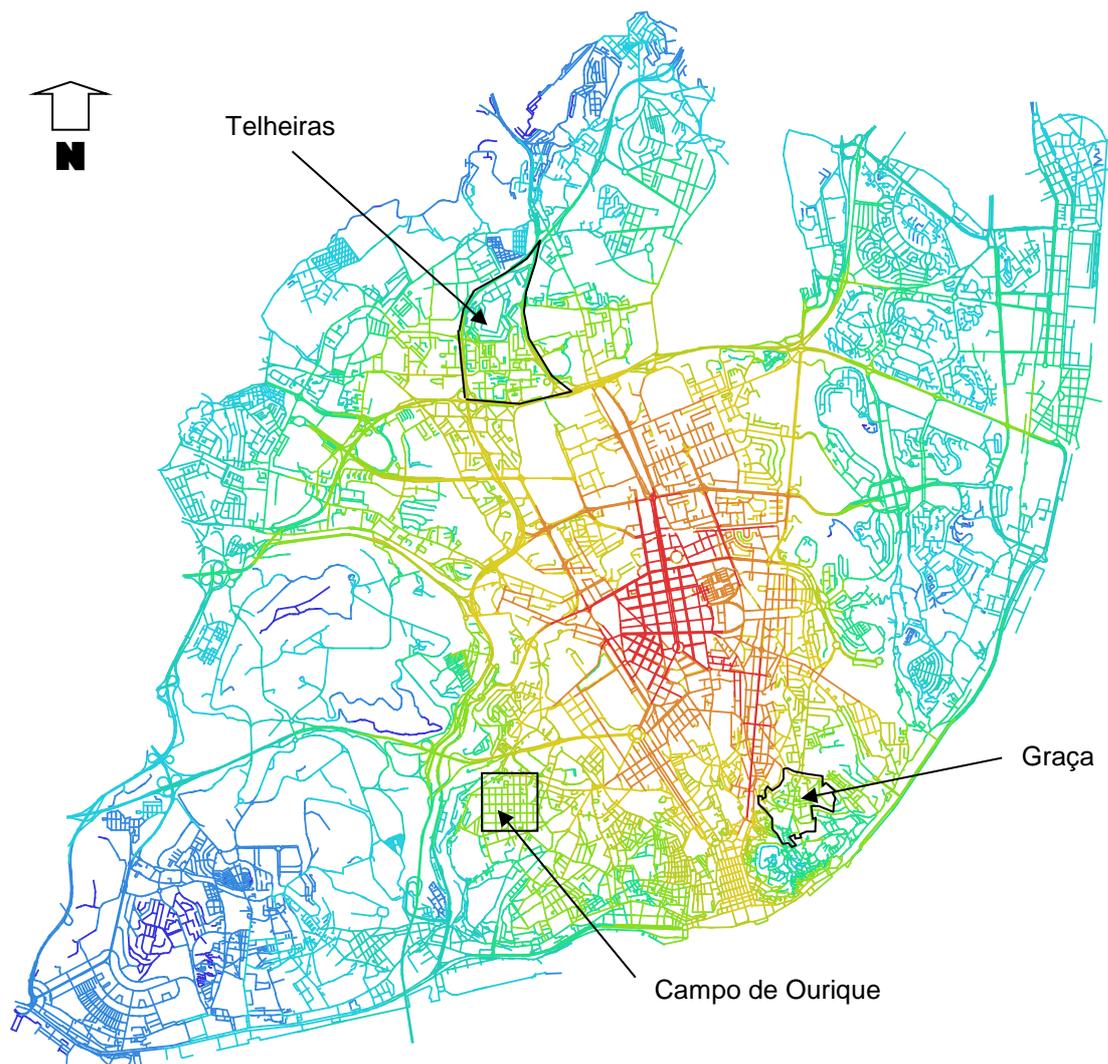


Fig. 3. Mapa Axial Rn de Lisboa com a localização dos bairros em estudo – escala não indicada

CARATERIZAÇÃO SINTÁTICA DOS TRÊS TIPOS DE MALHA URBANA

Malha regular

A área de estudo do bairro de Campo de Ourique caracteriza-se por uma malha essencialmente regular, com os cruzamentos predominantes em forma de "X". Os quarteirões, conseqüentemente, resultam desse traçado, com forte proximidade em seus tamanhos e proporções. O tecido urbano, quando semelhante a um padrão de tabuleiro de xadrez, tende a maximizar a quantidade de rotas possíveis a serem percorridas entre qualquer par de origem-destino, o que tende a resultar em valores configuracionais mais elevados (Figura 4).

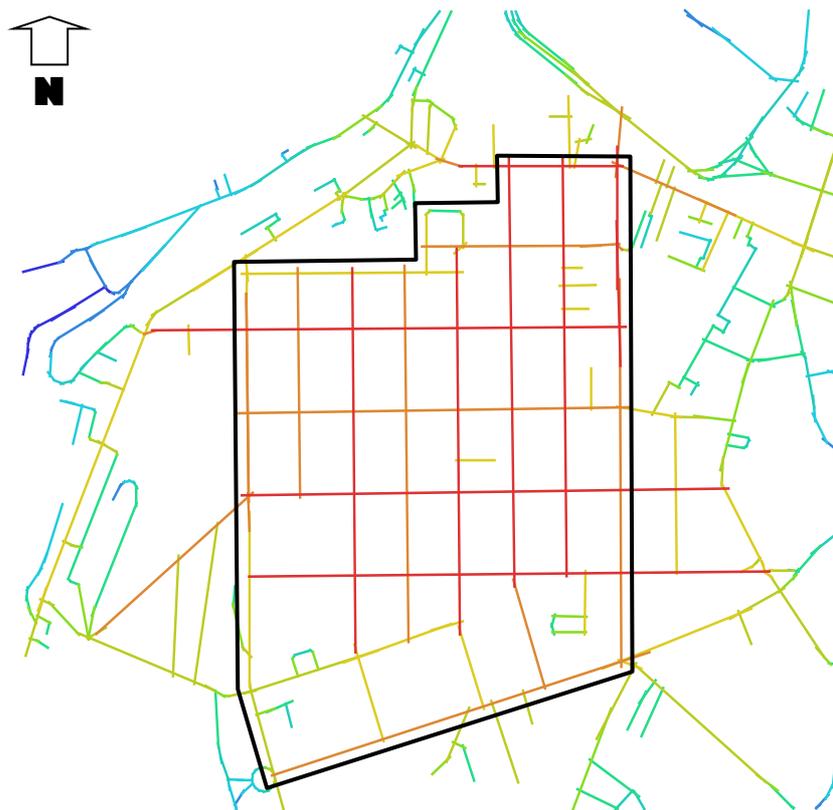


Fig. 4. Mapa Axial Rn de Campo de Ourique com entorno – escala não indicada

Tal como previsto, Campo de Ourique (Tabela 1) apresenta a maior média de integração global da amostra (0,74) e também a maior inteligibilidade espacial (0,26), revelando uma predisposição à facilidade de leitura por parte dos usuários. Isso acontece porque malhas em forma de “tabuleiro em xadrez” aumentam a quantidade de rotas e trajetos possíveis, otimizando as relações de fluxo e movimento. O bairro é também aquele que apresenta os maiores valores de sinergia (0,65), o que revela uma boa articulação entre as propriedades globais e locais.

Tab. 1. Índices Sintáticos

| Bairro | Integração Média Rn | Integração Média R3 | Conectividade Média | Inteligibilidade | Sinergia |
|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|----------|
| Campo de Ourique | 0,74 | 1,31 | 2,81 | 0,26 | 0,65 |

Malha irregular

O bairro da Graça, por outro lado, conforma-se em uma malha predominante irregular, resultante de um processo específico de adaptação ao sítio. O desenho de ruas aproxima-se daquilo que se denomina modo português de fazer cidades, herança de uma urbanística peculiar de apropriação do território. A área apresenta cruzamentos predominantemente

em forma de "T" e seus quarteirões não apresentam regularidade seja em relação ao tamanho ou à forma. Tais características refletem-se nos indicadores, conforme é possível verificar na Figura 5.

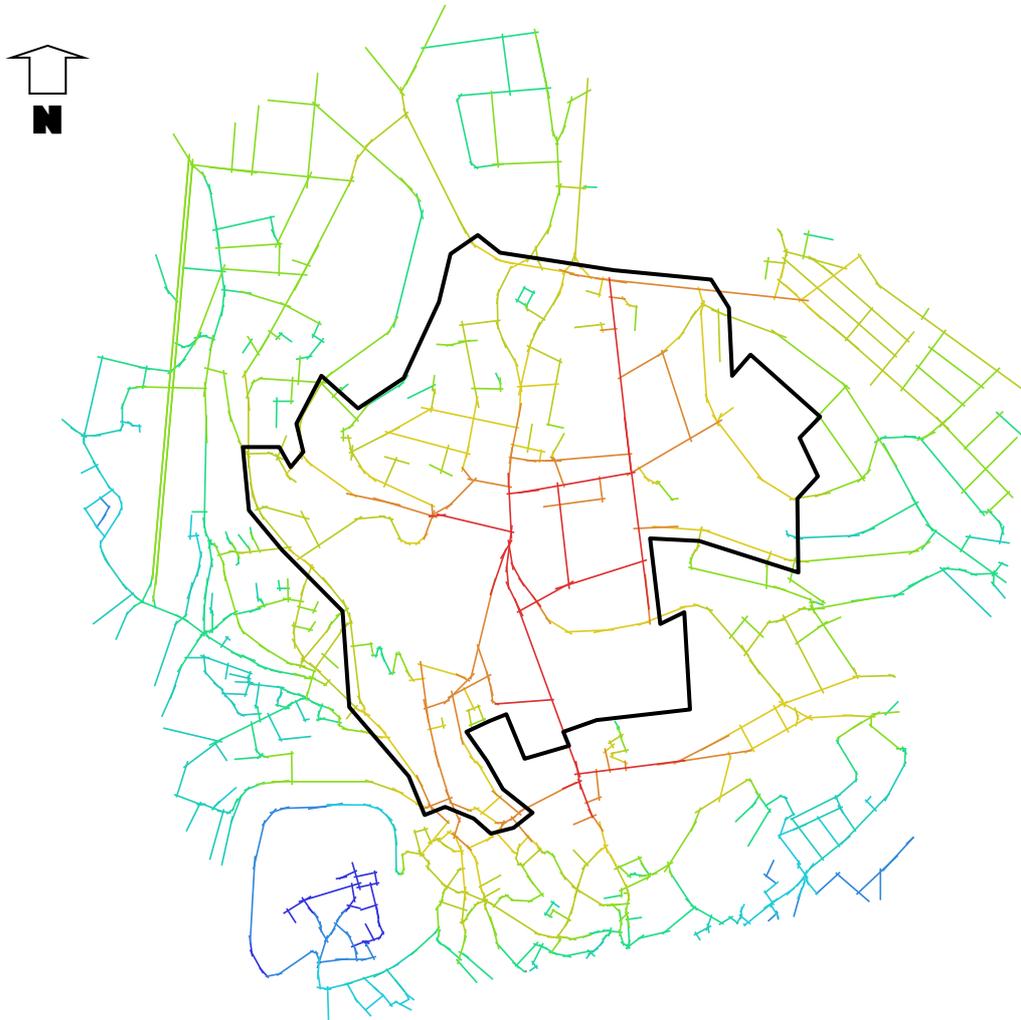


Fig. 5. Mapa Axial R_n da Graça com entorno – escala não indicada

Observa-se que na Graça (Tabela 2) a média de integração R_n (0,39) é a mais baixa da amostra, inclusive em relação à de Telheiras (Tabela 3 – 0,48). Isso ocorre devido a malha local tender a uma conformação labiríntica (Medeiros, 2006), produto do relevo acentuado e dos acíves afins, o que reduz as possibilidades de rotas e trajetos. Os valores de inteligibilidade, embora baixos quanto à de Campo de Ourique, são mais altos que o de Telheiras, o que associa-se ao aspecto de que a estrutura tradicional guarda uma melhor relação entre o potencial integrador das vias e sua conectividade.

Tab. 2. Índices Sintáticos

| Bairro | Integração Média R _n | Integração Média R ₃ | Conectividade Média | Inteligibilidade | Sinergia |
|--------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------|----------|
| Graça | 0,39 | 1,27 | 2,78 | 0,13 | 0,16 |

Malha contemporânea

O bairro de Telheiras, por fim, contempla um desenho bastante distinto em relação aos anteriores, resultado das experimentações contemporâneas oriundas de uma matriz moderna. Sua malha não apresenta um padrão claramente definido, pois ora assemelha-se ao que se desenvolve em Campo de Ourique, enquanto em outros momentos deriva para uma aparente irregularidade "ordenada": são constantes os cruzamentos "X" e em "T", também é frequente a existência de quarteirões excessivamente alongados (aqui também sem regularidade no tamanho e na forma). Tais feições promovem índices de integração mais baixos, como ilustram a Figura 6 e a Tabela 3.

Observa-se que Telheiras (Tabela 3) apresenta a integração média global (0,48) ligeiramente superior que o da Graça, pois em seu sistema há vias que cortam o bairro de leste a oeste, tornando-o mais permeável/acessível/raso. Por outro lado, a inteligibilidade é bastante reduzida (0,07), significativamente inferior em relação aos demais bairros, o que traduz uma comprometida leitura espacial.

Tab. 3. Índice Sintáticos

| Bairro | Integração Média R _n | Integração Média R ₃ | Conectividade Média | Inteligibilidade | Sinergia |
|-----------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------|----------|
| Telheiras | 0,48 | 1,21 | 2,63 | 0,07 | 0,27 |

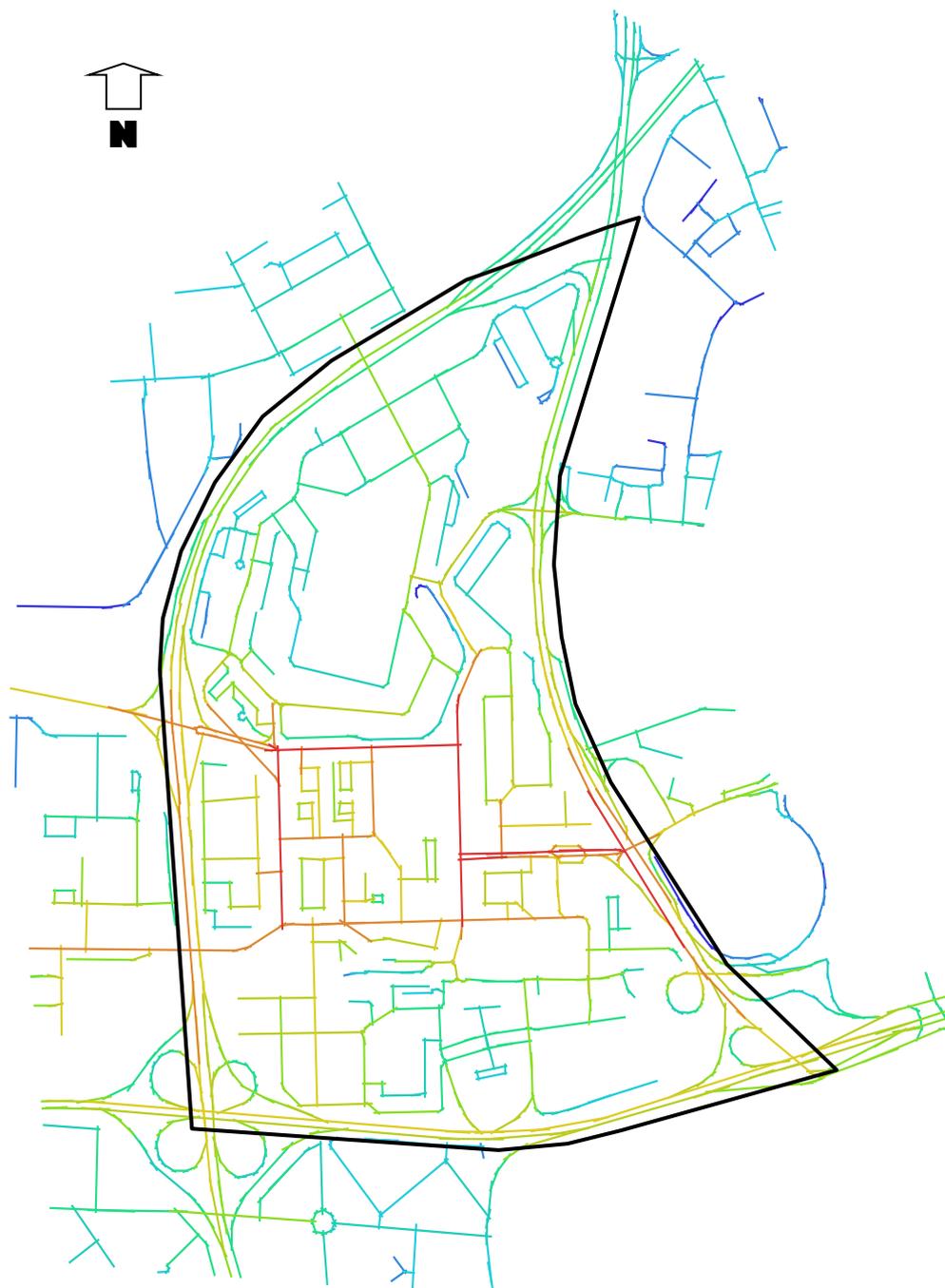


Fig. 6. Mapa Axial Rn de Telheiras com entorno – escala não indicada

Categorização dos arcos viários – Análise Cluster

A *Análise de Clusters* aplicada ao estudo procura estabelecer a classificação das vias por similaridade de feições constituintes (conforme atributos de análise), permitindo a formação de grupos por afinidades. Portanto, de modo a identificar as características das vias existentes nos três bairros, da análise emergiram seis *clusters* (Figura 7).

No *cluster 1* há predominância de integração média, alta compacidade viária, calçadas com largura média, com porcentagem média a alta de espaços públicos, e declives pouco acentuados. Tais características são timidamente identificadas em vias localizadas no bairro

de Telheiras. O *cluster* 2 apresenta predominância de baixa integração, baixa compacidade viária, declives médios, grandes larguras das calçadas e porcentagens médias de espaços públicos. Essas características viárias têm forte presença no bairro de Telheiras e alguma incidência na Graça. O *cluster* 3 contém os valores de integração e de compacidade viária baixos, largura das calçadas e porcentagens de espaço público médios e declives muito acentuados. A categoria tem tímida presença no bairro da Graça. O *cluster* 4 apresenta elevados valores de integração, razoável largura das calçadas, insignificantes declives e porcentagem de espaços públicos, além de baixa compacidade viária. As feições são fortemente presentes em todas as vias de Campo de Ourique. No *cluster* 5 são predominantes baixos valores de integração, declives médios, passeios com larguras médias, altas porcentagens de espaços públicos e média compacidade viária. As características são encontradas na Graça em maior escala e em Telheiras em escala reduzida. Por fim, o *cluster* 6 contempla valores de integração médios, médios declives, insignificantes larguras de passeios, elevados valores na porcentagem de espaços públicos e compacidade viária média. A categoria existe somente nas vias expressas que circundam o bairro de Telheiras.

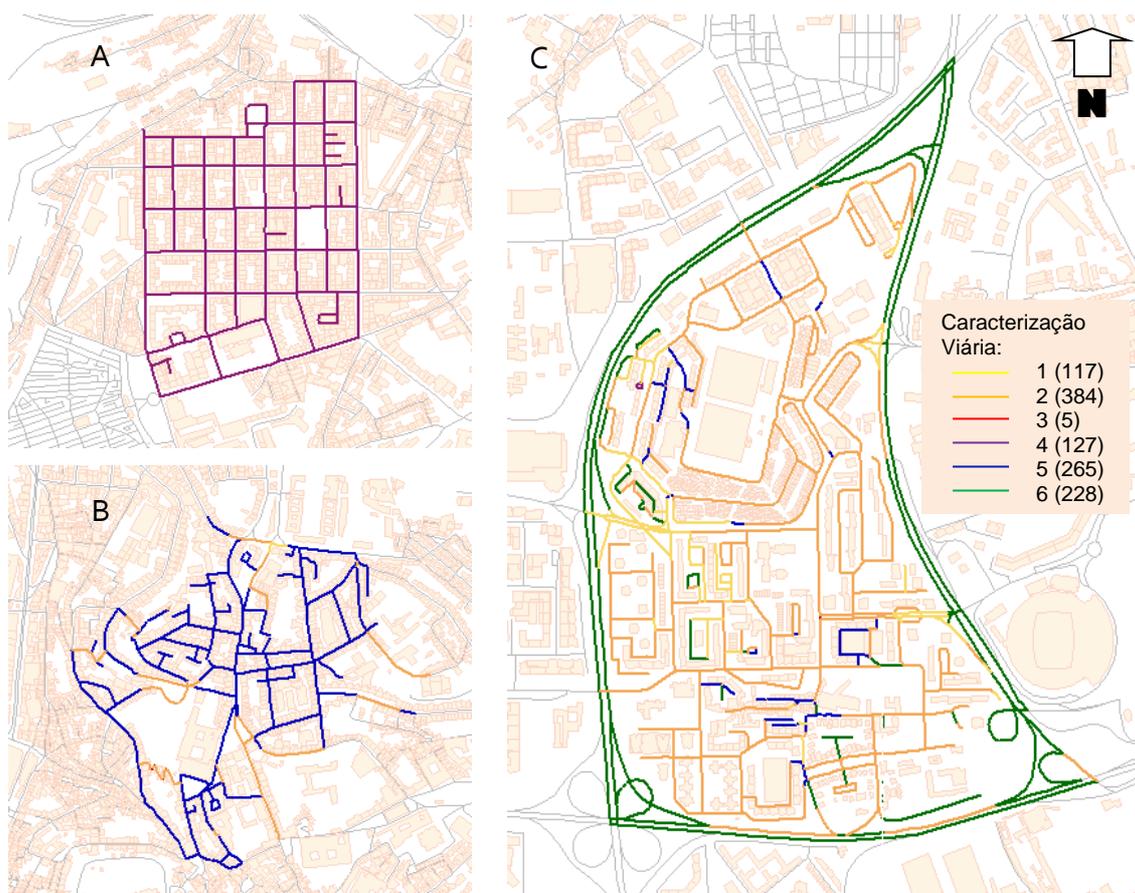


Fig. 7. Caracterização viária dos bairros (A) Campo de Ourique, (B) Graça e (C) Telheiras – escala não indicada

Dos achados obtidos e dos valores explorados, verifica-se que o bairro de Campo de Ourique (Figura 7A) apresenta maior homogeneidade quanto às características várias, uma vez que todas as vias de seu sistema permanecem em um único *cluster*. Na Graça, por outro lado, as vias distribuem-se por três *clusters*, embora haja maior incidência em um deles (o *cluster* 5) (Figura 7B). Telheiras (Figura 7C), por fim, apresenta a maior variedade em relação às características de suas vias, estando categorizadas em 4 dos 6 *clusters*, denotando, portanto, maior heterogeneidade quanto aos atributos investigados.

Categorização dos índices de caminhabilidade – Análise do Caminho mais Curto

Para complementar a *Análise Cluster* foi desenvolvida a *Análise do Caminho mais Curto* tendo por base a simulação de todos os trajetos possíveis em cada bairro, originando-se de todos os centróides de cada arco para todos os demais. Posteriormente, verificou-se o *Índice de Conversão Médio* que alcançou o menor valor em Campo de Ourique, com 1,34 (Tabela 4). Resulta, portanto, do traçado de maior regularidade, apenas possível tendo em vista o sítio físico de implantação (Figura 8).

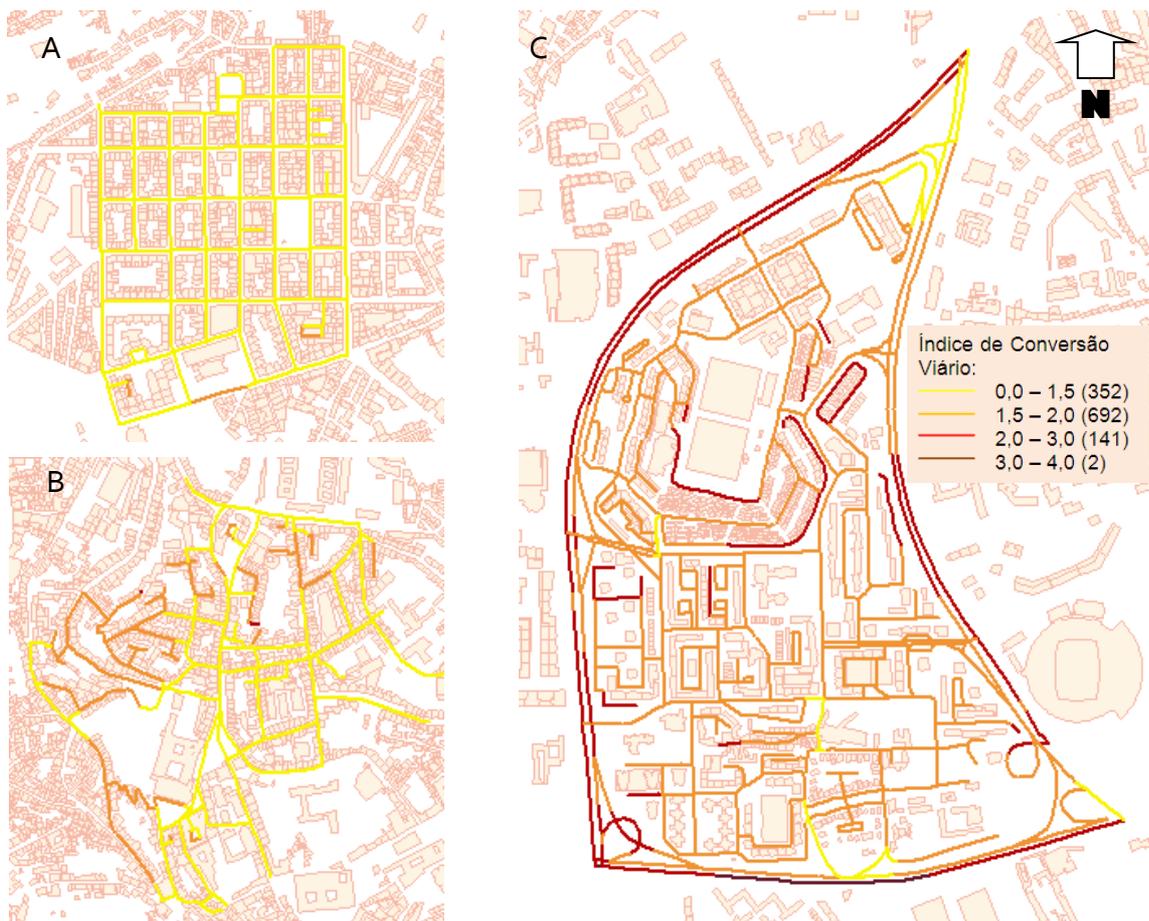


Fig. 8. Índice de conversão viário médio dos bairros (A) Campo de Ourique, (B) Graça e (C) Telheiras – escala não indicada

Na Graça, o índice de conversão médio viário é de 1,47 (Figura 8B e Tabela 4), o que denota maior dificuldade em alcançar determinados destinos comparativamente a Campo de Ourique (Figura 8A e Tabela 4), uma vez que há necessidade de maior número de conversões como mostra a caracterização viária do bairro no *cluster* 5 (Figura 7B).

Telheiras, finalmente, apresenta 1,76 como índice de conversão médio viário, o maior da amostra. Isso significa que há em média maior necessidade de conversões para se alcançar os destinos desejados (Figura 8C e Tabela 4).

Tab. 4. Índice de Conversão Média dos bairros

| Índice | Campo de Ourique | Graça | Telheiras |
|------------------------------------|------------------|-------|-----------|
| Índice de conversão média das vias | 1,34 | 1,47 | 1,76 |

Diante do exposto acima, pode-se inferir que a malha regular (exemplificada neste estudo pelo bairro de Campo de Ourique) apresenta significativa homogeneidade, como pode ser observado pelas características viárias relacionadas ao cluster 4. Ademais, tais feições – inclusive pela existência de alta integração viária – fomentam maior facilidade em se deslocar no bairro como um todo, tendo em vista o elevado número de conexões existente neste tipo de malha e a maneira como os eixos viários se interligam, o que ocasiona uma maior oferta de rotas possíveis entre qualquer par de rotas.

Por outro lado, os demais tipos de malhas (exemplificados pelos bairros da Graça – irregular – e de Telheiras – contemporânea) apresentam maior heterogeneidade quanto às características existentes nos seus respectivos conjuntos viários, conforme explorado na *Análise de Clusters*. O mesmo se aplica à maneira como ocorrem os deslocamentos nestes bairros, pois o fato de haver um menor número de conexões entre os eixos e, portanto, um reduzido número de possibilidades de rotas que em Campo de Ourique, torna estes exemplares viários mais tendentes a um sistema labiríntico (Medeiros, 2006). O índice de conversão viário médio (Tabela 4), em certa medida, ratifica o aspecto: na Graça é 1,47, em Telheiras de 1,76 e em Campo de Ourique de 1,34.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa, a despeito do carácter exploratório, contempla um conjunto de experimentos para a identificação das relações entre aspectos configuracionais e demais variáveis para a interpretação da mobilidade urbana com foco no pedestre. Os resultados das *Análises Cluster* e *do Caminho mais Curto* demonstram que há distintas características para cada tipo de malha viária, ou seja, a configuração do espaço presente em cada bairro acaba por produzir comportamentos distintos nos deslocamentos realizados pelos pedestres, haja vista que são afetados diretamente pelo desempenho dos espaços.

Os achados confirmam o que os traçados regulados, semelhantes a tabuleiros de xadrez, apresentam menor necessidade de conversões nos respectivos deslocamentos. Por outro lado, malhas cujas características enquadram-se em extremos da irregularidade, normalmente requerem maior quantidade de conversões, tendo em vista o caráter labiríntico da trama urbana. E em tecidos urbanos cujos traçados derivam de premissas modernas com intervenções contemporâneas, a necessidade de conversões é ainda mais notável, tendo em vista maior porcentagem de vazios urbanos (espaços públicos, como: ruas, praças, etc.) por cheios (espaços privados/construídos).

Deste modo, pode-se inferir que o deslocamento das pessoas nos bairros investigados é afetado diretamente pelas características viárias do desenho urbano, a considerar o declive do terreno, a compacidade viária, o formato e tamanho dos quarteirões, a quantidade de espaços públicos, a largura das calçadas, além da maneira como as vias do sistema estão relacionadas entre si. Com isso, apresenta-se aqui uma primeira etapa cuja pretensão é contribuir para a criação de diretrizes da composição de um índice de caminhabilidade (*walkability*) cujas variáveis tenham em conta a configuração dos espaços urbanos.

Como perspectivas futuras, recomenda-se que tais análises sejam aplicadas em outros exemplares (de diferentes escalas, como: bairros e cidades) das tipologias viárias estudadas. Ademais, sugere-se que outras tipologias (como: radiais, semi-radiais, colcha de retalhos, etc.) sejam testadas.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece à CAPES pelo apoio financeiro também durante o estágio de doutorado realizado no IST-UTL (Lisboa/Portugal) sob a orientação do professor José Manuel Viegas e co-orientação do professor Luis Miguel Martínez e por todo o apoio despendido durante e após o período do estágio.

REFERÊNCIAS

BARROS, Ana Paula. ESTUDO EXPLORATÓRIO DA SINTAXE ESPACIAL COMO FERRAMENTA DE ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília. Brasília, 171p, 2006.

BENÈVOLO, Leonardo. História da cidade. 3 ed. 2. reimp. São Paulo: Perspectiva, 2003.

CUNHA, Antônio Geraldo. Novo dicionário etimológico. Nova Fronteira da língua portuguesa. 2. ed. 8 reimp. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

DUARTE, Cristovão. Forma e movimento. Rio de Janeiro: Viana & Mosley, 2006.

FERRARI, Celso. CURSO DE PLANEJAMENTO MUNICIPAL INTEGRADO. 2ª Ed.. São Paulo, Livraria Pioneira, 1991.

FERRAZ, Antônio & **TORRES**, Isaac. TRANSPORTE PÚBLICO URBANO. 2ª Ed. São Carlos, Editora Rima, 2004.

- GONDIM**, Mônica. Mobilidade urbana: da mitologia aos tempos modernos. Brasília, 2013. Tese em desenvolvimento (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo – em curso) – Programa de Pesquisa e Pós-Graduação, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2013.
- GROS**, Frédéric. Caminhar, uma filosofia. São Paulo: É Realizações, 2010.
- HAMMER**, Mick. WELL CONNECTED. Journal New Scientist. 1999. Disponível em: <http://www.newscientist.com/article/mg16422124.700-well-connected.html> Acesso em: 20.01.2012.
- HILLIER**, Bill. & **HANSON**, Julienne. THE SOCIAL LOGIC OF SPACE SYNTAX. Cambridge, 1984.
- HILLIER**, Bill. SPACE IS THE MACHINE. Cambridge University Press, Londres, 1996.
- HILLIER**, Bill. A THEORY OF THE CITY AS OBJECT, OR HOW THE SPATIAL LAWS MEDIATE THE SOCIAL CONSTRUCTION OF URBAN SPACE. In: 3rd International Space Syntax Symposium. Proceedings of 3rd International Space Syntax Symposium. A. Alfred Taubman College of Architecture and Urban Planning, University of Michigan, Atlanta - EUA, 7-11 May 2001, 2001.
- HOLANDA**, Frederico. TEORIA DO CONHECIMENTO E DOS ESPAÇOS CONSTRUÍDOS. Notas de Aula do Curso de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. PPGT/FAU/UnB, 2001.
- HOLANDA**, Frederico. O ESPAÇO DE EXCEÇÃO. Brasília, EdUnB, 2002.
- KOSTOF**, Spiro. THE CITY ASSEMBLED: THE ELEMENTS OF URBAN FORM THROUGH HISTORY form through history. Londres: Thames and Hudson, 1992.
- KOSTOF**, Spiro. THE CITY SHAPED: URBAN PATTERNS AND MEANINGS THROUGH HISTORY. Londres: Thames and Hudson, 2001.
- LWIN**, Ko & **MURAYAMA**, Yuji. MODELLING OF URBAN GREEN SPACE WALKABILITY: ECO-FRIENDLY WALK SCORE CALCULATOR. Journal of Computers, Environment and Urban Systems. 35/408-420, 2011.
- MEDEIROS**, Valério. URBIS BRASILIAE. Tese de doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília. 520p, 2006.
- MUMFORD**, Lewis. A CIDADE NA HISTÓRIA: SUAS ORIGENS, TRANSFORMAÇÕES E PERSPECTIVAS. São Paulo: Martins Fontes, 1998.
- PEPONIS**, John. THE SPATIAL CULTURE OF FACTORIES. Human Relations, 38; 5; 1985, pp. 357-390.
- ROTKIN**, Joel. A CIDADE: UMA HISTÓRIA GLOBAL. Rio de Janeiro: Objetiva, 2012.
- RUTZ**, Newton; **MERINO**, Emilio; et alli. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CAMINHABILIDADE URBANA. 16º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito. Anais do 16º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito - ANTP. Maceió, 1-8 Outubro 2007, 2007.
- RUTZ**, Newton; **MERINO**, Emilio; et alli. DETERMINAÇÃO DE INDICADORES DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS CALÇADAS. 4º Congresso Luso-Brasileiro de Planejamento Urbano Regional Integrado e Sustentável. Anais do Congresso Luso-Brasileiro de Planejamento Urbano Regional Integrado e Sustentável - PLURIS. Faro, 6-8 Outubro 2010, 2010.
- VASCONCELLOS**, Eduardo. O QUE É TRÂNSITO. Coleção Primeiros Passos. N. 162. 3ª ed. São Paulo, Ed.Brasiliense, 1998.

ⁱ Não se aborda nesta pesquisa a perspectiva ampla do ato de caminhar associada aos demais animais que se movimentam por este meio.

ⁱⁱ O tema é discutido na tese em desenvolvimento de Mônica Gondim (2013), intitulada provisoriamente *Mobilidade Urbana: da Mitologia aos Tempos Modernos* (Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília).

ⁱⁱⁱ Uma seleção de significados do verbo caminhar, segundo o Dicionário Antônio Houaiss de Sinônimos e Antônimos (edição 2003) inclui: 1. Andar: marchar 2. Avançar: evoluir, progredir, prosseguir 3. (fig.) Desenvolver-se: andar, avançar, evoluir, progredir 4. Dirigir-se: encaminhar-se, locomover-se, seguir 5. (fig.) Espalhar-se: difundir-se, grassar, propagar-se 6. Percorrer: calcorrear 7. Navegar: velejar.

^{iv} Durante a realização da Conferência do Habitat (1995), em Istambul, as Nações Unidas apontaram que, pela primeira vez na história, a população urbana do mundo ultrapassou a rural.

^v Cabe lembrar que os sistemas de transporte público exemplares ou que atendem adequadamente/minimamente às demandas de sua respectiva população são restritos a poucas cidades e países, usualmente no que se convencionou chamar de mundo desenvolvido. Nos países em desenvolvimento e em suas respectivas metrópoles, os problemas de deslocamento são intensos e comprometem de maneira robusta a qualidade de vida (*complementar*).

^{vi} Cf. Gondim (2013) e Vasconcellos (1998), para quem o trânsito difícil das cidades contemporâneas já é conhecido desde o Império Romano, visto que este problema também afetava as cidades daquela época.

^{vii} Neste trabalho as expressões/verbetes *veículos motorizados, veículos individuais, veículos de passeio, automóveis e carros* serão utilizados como sinônimas.

^{viii} Adotam-se aqui os conceitos apresentados por Medeiros (2006), em que topologia é o estudo de relações espaciais que independem de forma e tamanho, sedimentadas em noções de hierarquia e relacionamento entre partes. Geometria, por sua vez, contempla a descrição direta dos elementos físicos componentes quanto às dimensões, proporções, escalas etc.

^{ix} “A *Análise Cluster ou Análise de Clusters* designa uma série de procedimentos estatísticos utilizados para classificar objetos e pessoas por observação das semelhanças e diferenças entre as mesmas. Tal informação conhecida, é organizada em grupos relativamente homogêneos (os chamados *Clusters*). Esta análise assim pode ser descrita: dado um conjunto de n indivíduos para os quais existe informação sobre a forma de p variáveis, a análise agrupa os indivíduos em função da informação existente, de modo que os indivíduos de um grupo sejam tão semelhantes quanto possível e sempre mais semelhantes, aos elementos do mesmo grupo do que aos elementos do restante dos grupos. Nesta análise não deverá existir dependência entre as variáveis, ou seja, os grupos configuram-se sem ser necessário definir uma relação causal entre as variáveis utilizadas. Dentre os métodos utilizados na Análise Cluster, o utilizado neste trabalho foi o Método Hierárquico, no qual baseia-se na construção de uma matriz de semelhanças ou diferenças, em que cada elemento da matriz descreve o grau de semelhança ou diferença entre cada dois casos, com base nas variáveis escolhidas. Neste processo utilizou-se uma medida padronizada de cada variável $((X - \mu)/\sigma)$ de forma a retirar a influência das diferentes escalas das variáveis utilizadas. Como forma de agregação dos casos foi utilizado o método de Ward, o qual se revelou ser o mais eficiente, sendo caracterizado pela minização da variância dos indicadores dentro de cada grupo formado. O objetivo consiste em obter uma hierarquia de partições P_1, P_2, \dots, P_n do conjunto total dos n objetos em n grupos. Os métodos hierárquicos têm como *output* dendogramas. A análise desses dendogramas permite avaliar qual o número de Clusters a considerar como *input* no método de otimização” (Fonte: adaptada de <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/49184/1/Clusters.pdf>).

^x Distância em linha reta desconsiderando qualquer obstáculo físico.