





# Estudo comparativo de unidades espaciais para avaliação da caminhabilidade em uma cidade brasileira

*A comparative study of spatial units for walkability assessment in a Brazilian city*

Letícia Cabrera   
Ercília Hitomi Hirota   
Julio Celso Borello Vargas   
Milena Kanashiro 

## Resumo

**A** pesar do crescente número de pesquisas que analisam o ambiente construído como suporte à caminhada, ainda há dúvidas sobre a delimitação da área de influência desse comportamento. A utilização dos setores censitários justifica-se pela ampla disponibilidade de dados sociodemográficos, no entanto eles têm se mostrado frágeis para a avaliação da caminhabilidade. O objetivo deste artigo foi comparar 8 diferentes tipos de unidades espaciais, verificando quais melhor se adequam à avaliação da caminhabilidade, correlacionando um índice sintético de caminhabilidade e suas variáveis componentes à frequência de caminhada obtida em uma pesquisa origem-destino recente. Os resultados mostraram que as macrozonas, as zonas de tamanhos semelhantes (400 m) e o agrupamento por valor venal e por acessibilidade topológica apresentaram maiores correlações com os níveis de caminhada e que há clara dependência estatística com a escala das unidades e sua delimitação, reafirmando o problema da unidade de área modificável (MAUP). A pesquisa pode contribuir para o refinamento dos métodos de avaliação da caminhabilidade, avançando para uma visão mais adequada às cidades brasileiras.

**Palavras-chave:** Escalas de análise. Problema da unidade de área modificável. Cidades brasileiras.

## Abstract

*Despite the growing number of research that analyzes the built environment as a support for walking, there are still doubts about the delimitation of the area of influence of this behavior. The use of census tracts is justified by the wide availability of sociodemographic data; however, they have been shown to be fragile for assessing walkability. This article aimed to compare 8 different types of spatial units to verify which ones are better suited to the evaluation of walkability of a Brazilian city, correlating a synthetic walkability index and its component variables with walking frequencies obtained from a recent origin-destination survey. The results showed that the macrozones, the zones of similar sizes (400 m), the grouping by market value, and by topological accessibility showed greater correlations with the levels of walking and that there is a clear dependence of the statistics on the scale of the units and their delimitation, reaffirming the problem of the modifiable areal unit problem (MAUP). The research can contribute to the refinement of spatial methods for walkability assessment, advancing toward a more adequate view of walkability in Brazilian cities.*

**Keywords:** Scale of analysis. Modifiable areal unit problem (MAUP). Brazilian cities.

<sup>1</sup>Letícia Cabrera  
<sup>1</sup>Universidade Estadual de Londrina  
Londrina - PR - Brasil

<sup>2</sup>Ercília Hitomi Hirota  
<sup>2</sup>Universidade Estadual de Londrina  
Londrina - PR - Brasil

<sup>3</sup>Julio Celso Borello Vargas  
<sup>3</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre - RS - Brasil

<sup>4</sup>Milena Kanashiro  
<sup>4</sup>Universidade Estadual de Londrina  
Londrina - PR - Brasil

Recebido em 25/10/21  
Aceito em 28/08/22

## Introdução

Os padrões tradicionais de mobilidade urbana, baseados em veículos movidos a combustíveis fósseis, têm sido associados a problemas de saúde da população, como o sedentarismo, a obesidade e as doenças crônicas não transmissíveis (FRANK *et al.*, 2010; GILES-CORTI *et al.*, 2010). Essas constatações tornam-se ainda mais preocupantes diante das mudanças climáticas e do crescimento populacional, fazendo emergir uma busca pela criação de cidades mais sustentáveis, seguras e saudáveis, tendo no transporte ativo – a pé ou de bicicleta – uma das principais soluções (SALLIS *et al.*, 2006; GILES-CORTI *et al.*, 2010).

Pesquisas na área da saúde (SALLIS *et al.*, 2006; OWEN *et al.*, 2007; FRANK *et al.*, 2010), de planejamento urbano e de transporte (CERVERO; KOCKELMAN, 1997; SOUTHWORTH, 2005; MOTOMURA; FONTOURA; KANASHIRO, 2018) partem do pressuposto de que o ambiente construído pode desempenhar um papel importante para apoiar comportamentos saudáveis, considerando a caminhada como a atividade física mais comum e provável de ser realizada no cotidiano (SOUTHWORTH, 2005; OWEN *et al.*, 2007).

Em relação aos benefícios para a saúde, a caminhada auxilia na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, como a hipertensão arterial, no aumento da sensação de bem-estar e na diminuição nos índices de depressão (SALLIS *et al.*, 2006; OWEN *et al.*, 2007; FRANK *et al.*, 2010). Mais recentemente, foi comprovada a importância do deslocamento ativo para a mitigação dos efeitos causados pela pandemia de covid-19, pois permite o deslocamento individual, mantém o distanciamento social e amplia a utilização de espaços abertos, com menor presença de veículos motorizados (BEREITSCHAFT; SCHELLER, 2020).

Já nas áreas de planejamento urbano e de transportes, o debate e a busca por cidades mais compactas e caminháveis (VARGAS, 2015; MOTOMURA; FONTOURA; KANASHIRO, 2018; LEÃO *et al.*, 2020a) encontram-se atrelados às soluções e políticas relacionadas ao transporte ativo (BRASIL, 2012). Outros autores apontam que bairros ditos “caminháveis” apresentam diversos benefícios econômicos, sociais e ambientais, tais como aumento da viabilidade econômica de locais comerciais (GILES-CORTI *et al.*, 2010), mais segurança (SOUTHWORTH, 2005), promoção de capital social e diminuição de acidentes de trânsito (GILES-CORTI *et al.*, 2010).

A partir da discussão dos benefícios da caminhada e de sua relação com as cidades, surge o conceito de caminhabilidade (*walkability*), que pode ser definida como a extensão em que o ambiente construído suporta e estimula o caminhar (SOUTHWORTH, 2005). Está fortemente relacionada com a combinação de variáveis ambientais, como o uso misto do solo, a conectividade de ruas e a alta densidade residencial (CERVERO; KOCKELMAN, 1997; SALLIS *et al.*, 2006; FRANK *et al.*, 2010). Ainda, o deslocamento a pé tem a probabilidade de ocorrer quando correlatos ambientais como a compacidade, a acessibilidade, a proximidade e a distância para transportes e serviços são alcançados em uma distância curta (LESLIE *et al.*, 2007; OWEN *et al.*, 2007; KOOHSARI *et al.*, 2016).

Com o intuito de mensurar e avaliar objetivamente a caminhabilidade (LESLIE *et al.*, 2007), pesquisadores de várias áreas do conhecimento desenvolveram e aplicaram diversos índices de caminhabilidade (CERVERO; KOCKELMAN, 1997; OWEN *et al.*, 2007; FRANK *et al.*, 2010; KOOHSARI *et al.*, 2016; FRANK *et al.*, 2017; MOTOMURA; FONTOURA; KANASHIRO, 2018; LEÃO *et al.*, 2020a). Os índices têm como base a redução dimensional das covariáveis ambientais, tal como em uma análise fatorial que é capaz de indicar se o arranjo espacial facilita o deslocamento a pé e, conseqüentemente, a atividade física (FRANK *et al.*, 2010). Os índices permitem mensurar uma relação complexa de ambiente-comportamento por meio de um indicador simples, robusto, reproduzível e verificável, além de outras vantagens, como avaliação rápida e em larga escala, maior facilidade de obter dados e possibilidade de comparação entre diferentes áreas urbanas (ELLIS *et al.*, 2016).

Entre os índices de caminhabilidade, o mais disseminado mundialmente é o desenvolvido por Frank *et al.* (2010), que sistematiza quatro variáveis do ambiente construído:

- (a) densidade residencial;
- (b) taxa de ocupação comercial – associada a menores áreas destinadas a estacionamentos e oportunidades de empregos locais (LESLIE *et al.*, 2007; FRANK *et al.*, 2010);
- (c) densidade de intersecções viárias; e
- (d) uso misto do solo ou score de entropia, indicando o grau de mistura de usos do solo presente no local.

A associação entre tais componentes e níveis de atividade física (caminhadas) tem sido positivamente relatada por numerosos estudos (FRANK *et al.*, 2017).

Para realizar tal avaliação, os setores censitários e/ou administrativos são comumente utilizados como base para o agrupamento dos dados, como representação dos “bairros” caminháveis (FRANK *et al.*, 2010; MOTOMURA; FONTOURA; KANASHIRO, 2018). No entanto, sabe-se que essas unidades censitárias, administrativas ou políticas são definidas para outros propósitos, que geralmente não correspondem a uma escala relevante para o comportamento da caminhada (BORUFF; NATHAN; NIJËNSTEIN, 2012; TRIBBY *et al.*, 2015). Medições da caminhabilidade agregadas por setores censitários apresentam limitações analíticas (TALEN; KOSCHINSKY, 2013), que estão ligadas ao “problema da unidade de área modificável” (MAUP – *Modifiable Areal Unit Problem*) (ZHANG; KUKADIA, 2005; TRIBBY *et al.*, 2015).

O MAUP está associado basicamente a dois efeitos: efeito de escala, que demonstra que a obtenção de resultados estatísticos pode variar com a escala e depende dos níveis de agrupamento dos dados; e efeito de zoneamento, o qual tem implicação direta na maneira como os dados são divididos e agregados a determinado limite espacial (OPENSHAW, 1984). De acordo com Openshaw (1984), apenas um sistema de zoneamento ou agrupamento completamente homogêneo estaria livre do MAUP.

Os setores censitários brasileiros, por sua vez, não possuem critérios de homogeneidade espacial para sua delimitação, já que são definidos pelo IBGE (INSTITUTO..., 2010) como “a unidade territorial estabelecida para fins de controle cadastral, formado por área contínua, situada em um único quadro urbano ou rural, com dimensão e número de domicílios que permitam o levantamento por um recenseador”.

Leão *et al.* (2020b) verificaram que os setores censitários apresentaram grande variabilidade em relação às variáveis do ambiente construído quando analisada a homogeneidade interna dessas unidades espaciais para avaliação da caminhabilidade. As autoras concluíram que unidades homogêneas, em termos das características do ambiente construído, tendem a ser mais adequadas para a análise da caminhabilidade e sugerem que novos estudos sejam feitos para avaliar os métodos de delimitação de unidades espaciais para análise da caminhabilidade.

Ainda, estudos que buscam encontrar associação entre ambiente construído e caminhada na América Latina por meio dos índices de caminhabilidade representam apenas 1,5% das pesquisas mundiais. No Brasil, além de não existirem muitos estudos, estes são, em grande parte, desenvolvidos em grandes cidades (ARELLANA *et al.*, 2020), que possuem aspectos ambientais e culturais diferentes das cidades médias e pequenas. Essas, por sua vez, possuem maiores índices de deslocamento a pé (ASSOCIAÇÃO..., 2018), o que pode ocorrer por razões econômicas ou por não haver rede de transporte público.

O problema central deste artigo foi investigar a influência que as diferentes abordagens para delimitação das unidades espaciais exercem sobre a análise do ambiente construído como suporte ao deslocamento a pé, tomando como caso uma cidade brasileira da qual se dispunha pesquisa de origem-destino recente. Para tanto, foi necessário um aprofundamento teórico-metodológico para subsidiar a seleção das variáveis que compõem e definem áreas homogêneas para a obtenção de dados do ambiente e subsequente correlação com os níveis de caminhada. Assim, o objetivo deste artigo foi comparar diferentes tipos de unidades espaciais, verificando quais delas melhor se adéquam ao propósito de compreender a influência do ambiente construído como suporte ao deslocamento a pé.

## Delimitação de unidades espaciais para análise da caminhabilidade

Na avaliação da caminhabilidade por meio de índices sintéticos, as variáveis são agregadas a determinada unidade espacial para a realização dos cálculos. Dessa forma, os resultados variam em função da escala e de diferentes definições de limites das unidades espaciais (CLARK; SCOTT, 2014).

Para mitigar os vieses dos resultados das pesquisas, outras técnicas e escalas têm sido testadas recentemente, como delimitação de unidades para avaliação da caminhabilidade. Foi realizada uma revisão de literatura com duas aproximações:

- (a) uma para identificar, sintetizar e selecionar procedimentos e métodos para a delimitação de áreas homogêneas; e
- (b) outra para identificar e selecionar variáveis e critérios relacionados ao deslocamento a pé.

Pode-se perceber a prevalência de duas abordagens nos métodos/procedimentos baseados no lugar, que se diferem ao considerar ou não unidades espaciais predefinidas para o início da avaliação. Na primeira abordagem há aqueles que utilizam áreas predefinidas, como unidades administrativas, e/ou propõem *buffers* (BORUFF; NATHAN; NIJËNSTEIN, 2012; CLARK; SCOTT, 2014, GUNN *et al.*, 2017), células e *grids*

(ZHANG; KUKADIA, 2005; HURVITZ; MOUDON, 2012), cuja estabilidade é avaliada, para propor novas áreas de diferentes tamanhos e escalas, e tentar minimizar os efeitos de escala e zoneamento do MAUP (RIVA *et al.*, 2008). Os *buffers* são áreas de influência com raios, traçados no entorno de residências individuais ou locais de estudos e/ou trabalho, origens, trajetos e destinos das rotas caminhadas (LEARNIHAN *et al.*, 2011; CLARK; SCOTT, 2014; FRANK *et al.*, 2017; GUNN *et al.*, 2017; YANG; HU; WANG, 2018), utilizados para associar atributos do ambiente construído ao comportamento de viagem identificado (TRIBBY *et al.*, 2015). Por outro lado, os *grids* são unidades espaciais que buscam dividir a cidade em células geométricas, sem considerar o ambiente de influência pessoal. As dimensões adotadas para ambas as unidades – *buffers* e *grids* – buscam representar as distâncias caminhadas e a acessibilidade a serviços, trabalho e residências.

A segunda abordagem, conhecida como *Zone Design* (FLOWERDEW; MANLEY; SABEL, 2008; STAFFORD; DUKE-WILLIAMS; SHELTON, 2008), inclui procedimentos semiautomatizados e automatizados e utiliza técnicas que criam zonas segundo critérios e parâmetros preestabelecidos. Entre as ferramentas automatizadas estão algoritmos e métodos de autocorrelação espacial; e nas semiautomatizadas encontram-se procedimentos simultâneos de abordagens interativas, visuais e estatísticas. Esta abordagem visa esclarecer a relação entre as características do ambiente construído em determinado limite e os níveis agregados de caminhada, variável de interesse neste artigo, que ocorrem dentro desse limite.

Um dos algoritmos automatizados mais difundido é o *Automated Zone Procedure* (AZP), criado por Openshaw e Rao (1995), um método utilizado para agrupar áreas pequenas, como unidades administrativas ou parcelas, em zonas maiores de acordo com critérios definidos para otimizar a homogeneidade interna das variáveis e tamanho da população, entre outras características (STAFFORD; DUKE-WILLIAMS; SHELTON, 2008).

No entanto, esses procedimentos apresentam limitações, pois não possuem critérios espaciais prévios, como limites físicos e áreas isoladas (não contíguas) (FLOWERDEW; MANLEY; SABEL, 2008; ZHAO; EXETER, 2016). Soma-se a isso o fato de não serem de fácil manuseio, terem critérios rígidos e não permitirem o acréscimo ou modificação de demais parâmetros. Apesar de apresentarem resultados rápidos, estes nem sempre são os mais adequados (ZHAO; EXETER, 2016).

Por outro lado, as ferramentas semiautomatizadas permitem flexibilidade na inserção de múltiplas camadas e de variáveis espaciais que podem ser relevantes para a definição de áreas, como limites físicos e naturais – rodovias, ferrovias, relevo e corpos d'água – por meio de interpretação de imagens de satélite (ZHAO; EXETER, 2016).

Pesquisas comparativas aplicaram ambas as ferramentas – automatizadas e semiautomatizadas –, e os resultados indicaram maior eficácia das ferramentas semiautomatizadas, por considerarem abordagens iterativas junto aos critérios de homogeneidade, compacidade e contiguidade geográfica (ZHAO; EXETER, 2016).

A literatura indicou como os critérios mais utilizados para a delimitação de áreas a contiguidade geográfica – áreas vizinhas entre si –, a homogeneidade populacional, o respeito a limites existentes e a compacidade, além de considerar limites físicos, elementos do ambiente construído e homogeneidade interna das variáveis presentes também nos procedimentos automatizados (ZHAO; EXETER, 2016).

Em relação aos critérios relacionados especificamente com a avaliação do ambiente construído e sua associação ao comportamento da caminhada, foram identificadas a homogeneidade interna, a compacidade, a continuidade geográfica das áreas e a consideração de elementos físicos e sociais. Observou-se ainda que algumas dessas variáveis da forma urbana (VARGAS, 2015) podem auxiliar na identificação e delimitação de áreas como limites físicos e naturais (KRAFTA, 2014; FRANK *et al.*, 2017), compacidade de áreas (COCKINGS; MARTIN, 2005; FLOWERDEW; MANLEY; SABEL, 2008; STAFFORD; DUKE-WILLIAMS; SHELTON, 2008) e valor do solo e imóvel urbano (LEÃO *et al.*, 2020a), bem como as medidas topológicas da sintaxe espacial (KOOHSARI *et al.*, 2016).

Para medir a acessibilidade da rede viária, foram utilizadas métricas clássicas da Sintaxe Espacial – “integração” e “escolha” –, calculadas com base no mapa de trechos da cidade de Rolândia, PR. A medida de integração indica o grau de articulação de um trecho de via com todos os demais trechos do sistema, considerando as conexões em um raio determinado (KRETZER; SABOYA, 2020), ou seja, a integração calcula o quão próximo um trecho está de todos os demais do sistema, sugerindo seu potencial como destino de movimento (HILLIER, 2009). É similar à medida de “*closeness centrality*” – centralidade por proximidade (CRUCITTI; LATORA; PORTA, 2006). Já a medida de escolha (*choice*) (HILLIER *et al.*, 1993) é utilizada para mensurar o potencial de um trecho de via em ser escolhido para passagem, considerando os caminhos mínimos entre todos os pares de trechos (HILLIER; YANG; TURNER, 2012). Ela sugere o potencial de

movimento “através” de cada trecho, sendo similar à medida de “*betweenness centrality*” (KOOHSARI *et al.*, 2016).

A partir das reflexões sobre variáveis da caminhabilidade e de métodos para a delimitação de unidades espaciais, realizou-se uma síntese para estabelecer procedimentos de definição de áreas homogêneas para correlacionar com os níveis de caminhada (Quadro 1).

## Materiais e métodos: estratégias, aplicações e correlações

Visto que o problema de pesquisa precisa ser compreendido com profundidade, e por se tratar de um fenômeno influenciado pelo contexto, o estudo de caso foi adotado como estratégia metodológica (YIN, 2001), apoiado pelo uso da análise correlacional, que, por meio do uso de técnicas estatísticas, visa ao esclarecimento de padrões de relação entre as variáveis (GROAT; WANG, 2013).

O estudo de caso foi conduzido na cidade de Rolândia, PR (Figura 1), com uma população estimada de 65.757 habitantes (INSTITUTO..., 2019), que faz parte do estrato intermediário das cidades brasileiras, em termos de número de habitantes<sup>1</sup> e possui 2135,57 ha de área territorial em sua mancha urbana (SECRETARIA..., 2022). É considerada pela classificação do IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO..., 2018) como Centro Sub-regional B, e subnúcleo do arranjo populacional de Londrina (INSTITUTO..., 2021b). Ainda, faz parte da Região Metropolitana de Londrina e tem sua economia voltada à produção agrícola e industrial.

Foi definido como estudo exploratório pela disponibilidade de dados da pesquisa de origem e destino (OD), realizada pelo Instituto de Tecnologia e Desenvolvimento Econômico e Social (INSTITUTO DE TECNOLOGIA..., 2018), e por contar com um banco de dados georreferenciados atualizados no nível da unidade do lote/parcela.

O banco de dados da pesquisa origem-destino de Rolândia conta com 394 rotas autorreportadas realizadas a pé, contendo apenas a origem e o destino do deslocamento, sem identificar a rota feita pelos entrevistados. Por isso, a origem e o destino das rotas foram sistematizados e georreferenciados por meio do software ArcGIS online, e as rotas foram criadas a partir do caminho mais curto entre os pontos de origem e destino com uso da ferramenta *Connect Origins to Destinations* do software, utilizando os parâmetros de caminhos e tráfego do local para configurar a viagem e otimizar o tempo da caminhada (ENVIRONMENTAL..., 2019), sem considerar a topografia. Todos os dados foram agrupados nas unidades espaciais de análise, e posteriormente foi verificada sua correlação com as distâncias percorridas.

Quadro 1 - Síntese dos critérios de delimitação de áreas e sua relação com os métodos e as variáveis da caminhabilidade

<b>Crítérios para delimitação</b>	<b>Variáveis relacionadas à caminhada</b>	<b>Justificativa</b>
Contiguidade	Continuidade geográfica, proximidade	Áreas contíguas na cidade são mais próximas geograficamente.
Número de pessoas/tamanho	Densidade residencial/distâncias caminháveis	Locais com densidade residencial semelhantes têm comportamentos semelhantes.
Elementos físicos e naturais do ambiente	Acesso a pedestres, relevo, amenidades, rodovias, ferrovias, áreas verdes, corpos d'água	Elementos físicos e naturais do ambiente construído podem barrar o acesso a pedestres, limitando a possibilidade de viagens a pé.
Compacidade	Uso misto do solo, distância, proximidade, acessibilidade, densidade de intersecções, tamanho de quadras, conectividade, transporte, deslocamento	Áreas compactas tendem a ser áreas mais densas e menos dispersas. Tendem a possuir mais diversidade de usos e, assim, maiores taxas de deslocamento ativo.
Homogeneidade interna	Forma urbana, níveis de integração, acessibilidade, valor do solo e imóvel urbano	A homogeneidade interna pressupõe que características semelhantes tenham mesma influência sobre determinada área.

<sup>1</sup>De acordo com o IBGE (INSTITUTO..., 2021a), estima-se que cerca de 42,3% da população brasileira está concentrada em municípios com até 100 mil habitantes, que representam cerca de 94% dos municípios no Brasil.

Figura 1 - Localização de Rolândia



Fonte: adaptada de IBGE (INSTITUTO..., 2010) e Prefeitura Municipal de Rolândia (2018).

Para calcular o índice de caminhabilidade, foram utilizadas as variáveis adotadas por Frank *et al.* (2010):

- (a) densidade de intersecções viárias;
- (b) densidade residencial bruta;
- (c) taxa de ocupação comercial; e
- (d) uso misto do solo.

Como critérios de homogeneidade foram utilizados o valor venal e valor do imóvel urbano, as dimensões de lotes e quadras, e métricas da sintaxe espacial (integração e escolha). O valor venal e valor do imóvel foram obtidos na Prefeitura do Município de Rolândia pela base cadastral do imposto predial e territorial urbano da cidade. Tais valores georreferenciados foram agregados pela média de valores às quadras da cidade. Já para o cálculo das medidas configuracionais (integração e escolha) foi utilizado o software QGis (QGIS..., 2018) e a extensão *Qgis space syntax toolkit* (GIL, 2014), a partir do mapa cadastral georreferenciado da cidade de Rolândia.

### Criação de unidades espaciais

Para dar início à delimitação das unidades espaciais foi necessário, primeiramente, dispor de uma base de dados com todas as variáveis agregadas às unidades definidas como unidades mínimas: os quarteirões.

Com a revisão de literatura sobre atributos de homogeneidade espacial e de procedimentos de delimitação de unidades espaciais para a caminhada, foram identificados critérios para a criação de sete diferentes estratégias a serem testadas empiricamente (Quadro 2).

Segundo as definições de cada unidade de análise, os dados foram incluídos e agrupados em cada parcela mínima e utilizados separadamente ou em conjunto. Todas as unidades consideraram como critério a contiguidade geográfica a partir da contiguidade entre os quarteirões, os elementos físicos e sociais do ambiente construído como as barreiras, e o critério de compacidade calculado pela fórmula (Eq. 1):

$$Comp = \frac{Perímetro^2}{Área} \quad \text{Eq. 1}$$

Para a delimitação dos sete tipos de unidades espaciais, seguiram-se os critérios e as variáveis de homogeneidade interna, os procedimentos das ferramentas semiautomatizadas e os cálculos para avaliação da compacidade e da densidade populacional, por quadras, bem como as camadas de dados georreferenciadas (Quadro 3).



Quadro 2 - Definição das estratégias e critérios de homogeneidade interna

#	Definição das unidades de análise	Critérios para homogeneidade interna
E1	Macrozonas – limites físicos	Delimitação de áreas a partir de limites físicos e naturais considerados barreiras: rodovias, ferrovia, corpos d'água, áreas de proteção ambiental e limites urbanizáveis (KRAFTA, 2014; FRANK <i>et al.</i> , 2017) A base das macrozonas distintas serviram como base para a divisão das demais estratégias.
E2	Raio 400 m	Distância de 400 m como uma escala favorável à criação de bairros caminháveis (YANG; HU; WANG, 2018). Critério a partir da similaridade de tamanho: dimensão adotada como alvo para homogeneidade foi a área de uma circunferência de raio de 400 m, igual a aproximadamente 49 ha.
E3	Raio 750 m	Distância definida por meio do cálculo da mediana das distâncias percorridas a pé pela população de Rolândia na pesquisa origem-destino da cidade. Critério a partir da similaridade de tamanho: escala adotada como alvo resultou na área de circunferência de raio de 750 m, igual a cerca de 176 ha.
E4	Valor venal	Delimitação de áreas a partir do valor venal dos terrenos e imóveis, a partir do pressuposto de que locais de preços mais altos são dotados de amenidades e de infraestrutura para pedestres (LEÃO <i>et al.</i> , 2020a).
E5	Forma urbana	Delimitação de áreas a partir da homogeneidade espacial como similaridade nas dimensões de quarteirões, de lotes e de cruzamentos (VARGAS, 2015).
E6	Sintaxe: Integração	Delimitação de áreas a partir dos valores de integração similares. Toma-se como pressuposto que a integração local define limites na malha urbana, conectividade viária e pode contribuir em uma escala local de vizinhança, e indicar a presença de usos mistos (KRETZER; SABOYA, 2020; KOOHSARI <i>et al.</i> , 2016). O valor adotado para o raio da integração local foi de 750 m, obtido pela mediana das rotas caminhadas em Rolândia.
E7	Sintaxe: Integração   Limites: Escolha ( <i>choice</i> )	Delimitação de áreas a partir dos valores de integração e de escolha similares. Essa estratégia combina ainda a medida sintática de escolha que pode representar limites urbanos (VAUGHAN, 2007) a partir de ruas de alto fluxo (KRAFTA, 2014). Vias com maior valor de escolha foram consideradas limites para que as áreas adjacentes possam ter uma mesma probabilidade de escolha ao caminhar.

Quadro 3 - Critérios, variáveis, procedimentos e dados utilizados para os tipos de unidades

Critérios	Variáveis	Procedimentos	Dados
Continuidade geográfica	Contiguidade da malha urbana – quarteirões	Inspeção visual	Camada com as parcelas mínimas
Elementos físicos e sociais do ambiente construído	Limites físicos e sociais	Inspeção visual	Camadas com dados de rodovias, ferrovias, limites de urbanização, corpos d'água e vegetação (shp)
Homogeneidade interna	Macroparcelamento, tamanho das áreas, valor venal, forma urbana, sintaxe espacial	Inspeção visual	Camada com dados das parcelas mínimas
Compacidade	Perímetro e área dos quarteirões	Inspeção visual e cálculo da medida de compacidade $P^2/A$	Perímetro e área dos quarteirões
Número de pessoas	Número de residências	Inspeção visual e cálculo do número de residências	Camada de lotes residenciais

A ferramenta adotada para realizar a delimitação de unidades espaciais para a análise da caminhabilidade foi a extensão *Districting* (ENVIRONMENTAL..., 2023) do ArcMap. Trata-se de uma extensão gratuita que pode ser utilizada para criar planos de divisão de áreas por meio de agrupamentos de dados contidos em parcelas geográficas e gerar relatórios de dados e estatísticas (ENVIRONMENTAL..., 2023).

A escolha da ferramenta decorreu da análise das aplicações realizadas com as quais ela se mostrou capaz de integrar procedimentos estatísticos automáticos à interpretação visual (GUO; WANG, 2011; ZHAO; EXETER, 2016) e pelo fato de apresentar critérios flexíveis, passíveis de adaptação na definição de variáveis de acordo com o objetivo analítico (ZHAO; EXETER, 2016).

Após a criação das estratégias e agregação das variáveis espaciais de interesse aos bairros, os agrupamentos puderam ser realizados. Tal procedimento ocorreu por meio da anexação das parcelas mínimas – bairros –, iterativamente, até que os valores estabelecidos, de acordo com os critérios para cada estratégia, fossem atingidos. Para esse processamento foram adotados os valores estatísticos mostrados automaticamente a cada seleção no relatório de dados criado pela extensão *Districting*.

Assim, todas as estratégias foram criadas buscando obter a homogeneidade interna das áreas e a heterogeneidade entre as áreas (FLOWERDEW; MANLEY; SABEL, 2008). Após esse processo, as unidades espaciais puderam ser criadas junto a relatórios de dados e mapas de saída.

## Avaliação da caminhabilidade

Após definidas as unidades espaciais por meio das estratégias, calculou-se a caminhabilidade nos setores censitários e nas unidades espaciais criadas por meio do índice de caminhabilidade desenvolvido por Frank *et al.* (2010) (Eq. 2):

$$\text{Índice de Caminhabilidade} = [(2 \times z - \text{densidade de interseções}) + (z - \text{densidade residencial}) + (z - \text{taxa de ocupação comercial}) + (z - \text{uso misto do solo})] \quad \text{Eq. 2}$$

A *densidade de interseções*, obtida pela rede viária, foi calculada por meio da soma das interseções reais (esquinas em “T” ou “+”, com 3 ou mais vias) e pela divisão do número de interseções em cada unidade espacial.

Por meio do levantamento de uso do solo, foi possível mapear e quantificar as unidades residenciais existentes. Para as unidades habitacionais dispostas em edificações multifamiliares, o levantamento levou em conta o número de unidades consumidoras da companhia de energia elétrica, quando disponível, ou a configuração em planta das edificações, que teve o número de apartamentos multiplicado pela quantidade de pavimentos. A partir disso, o número de residências foi somado, e o total dividido pela área de cada unidade espacial utilizada para o cálculo da *densidade residencial bruta*.

Para a *taxa de ocupação comercial* foi utilizada a projeção das edificações, cedida pela Prefeitura de Rolândia. Para o cálculo da proporção, a área das edificações comerciais foi dividida pela área total de seus lotes. Posteriormente, os valores dessa razão foram agrupados em cada unidade espacial utilizada para o cálculo do índice, por meio da soma dos valores encontrados.

*Quanto ao uso misto do solo*, a medida de diversidade utilizada no cálculo do índice de caminhabilidade foi a entropia. Seus resultados variam de 0 a 1, em que 0 indica a existência de apenas um uso em determinada área e 1 indica uma distribuição homogênea dos cinco usos. A entropia foi calculada com base em Shannon (1948), por meio da Equação 3:

$$\text{Entropia} = - \sum_{i=1}^N \frac{P_i \times \ln(P_i)}{\ln N} \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

i = categorias de uso do solo;

Pi = proporção da categoria de uso do solo i em relação ao total;

N = total de categorias de uso do solo considerados na área de estudo;

ln = logaritmo na base; e

N = total de categorias de uso do solo considerados na área de estudo (FRANK *et al.*, 2010).

Após o levantamento e sistematização das variáveis, foi conduzida uma normalização dos valores por meio do escore z, em unidades de desvio padrão. O escore z é calculado pela seguinte fórmula (Eq. 4):



$$Z = \frac{(x-\mu)}{\sigma} \quad \text{Eq. 4}$$

Em que:

Z é o valor do escore;

x é a medida observada;

$\mu$  é a média dos dados; e

$\sigma$  é o desvio padrão dos dados (CURTIS *et al.*, 2016).

Com todos os procedimentos concluídos, pôde-se calcular o índice da caminhabilidade em todas as áreas delimitadas e nos setores censitários utilizando o ArcGIS Desktop 10.6 1 (ESRI, Redlands, Estados Unidos), com licença autorizada para uso.

### Correlação: metros caminhados x aplicação do índice de caminhabilidade em cada estratégia de agregação de dados

Para a validação das estratégias foram realizadas correlações entre o índice de caminhabilidade e os níveis de caminhada em cada categoria de área criada. De modo a compreender qual variável do ambiente construído teve maior relevância e variação no cálculo do índice de caminhabilidade, além das associações com os níveis de caminhada, as correlações entre variáveis do índice também foram realizadas. Ainda, buscou-se compreender se os ambientes mais caminháveis também foram os locais mais caminhados.

Os níveis de caminhada foram calculados utilizando a soma dos segmentos em metros caminhados por unidade espacial de análise, provenientes das 394 rotas caminhadas autorreportadas calculadas com base no banco de dados de OD.

A verificação da normalidade dos dados foi feita com uso do teste de Shapiro-Wilk, e o resultado indicou que os dados de caminhada não seguiram distribuição normal, ou seja, o p-valor foi menor que 0,05. Dessa forma, optou-se pelo teste de correlação não paramétrico de postos de Spearman (*rho*). Para a visualização dos resultados escolheu-se uma matriz de correlação. Os procedimentos foram realizados no software R (R..., 2019).

### Resultados e discussões

As unidades que apresentaram os maiores valores de correlação entre o índice de caminhabilidade e os níveis de caminhada foram E1 – Macrozonas (0,50), E2 – 400 m (0,44), E4 – Valor Venal (0,44) e E7 – Integração + Escolha (0,44) (Tabela 1).

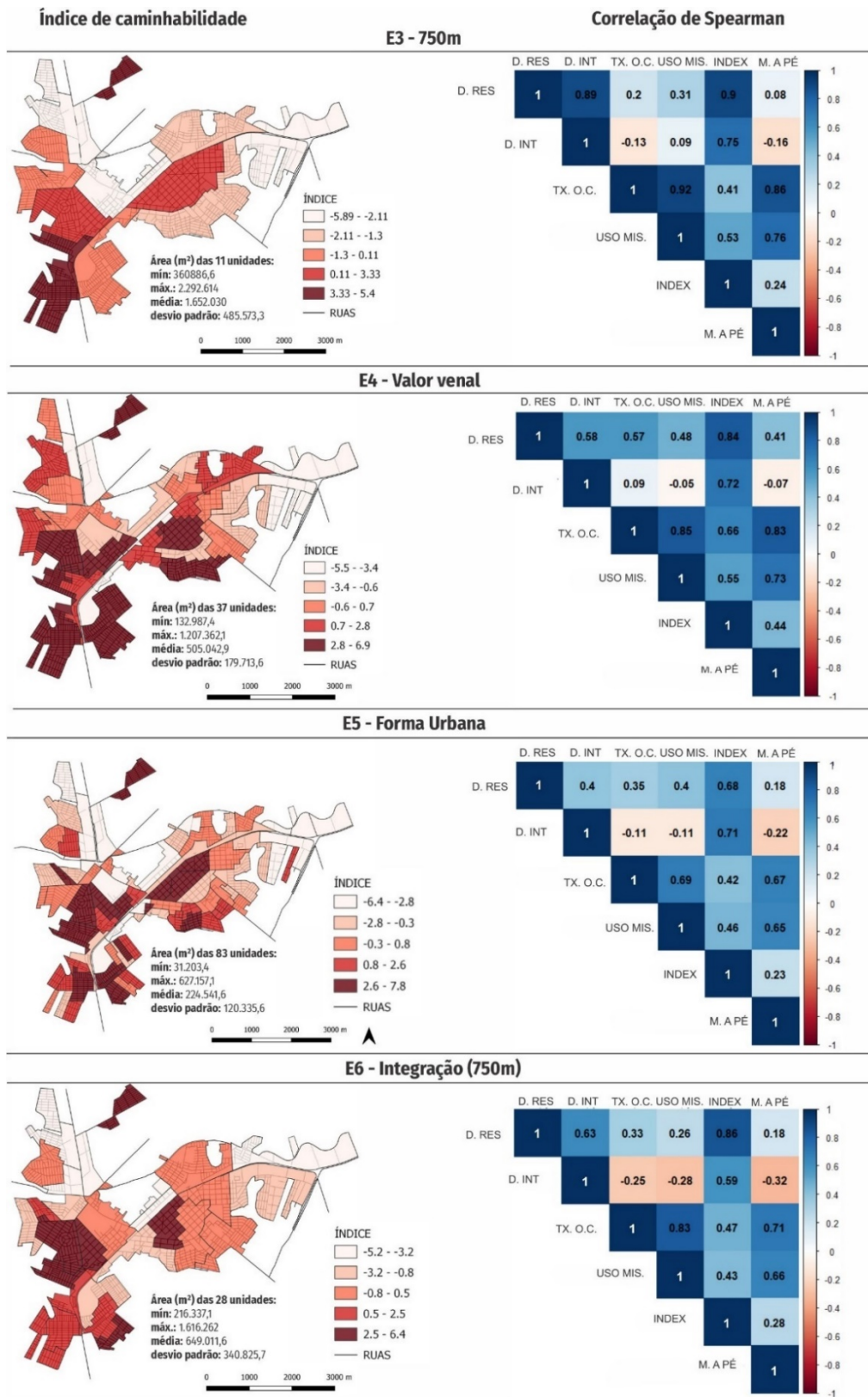
Observou-se que os resultados do índice de caminhabilidade (Figuras 2, 3 e 4) mostraram amplitudes diferentes para as oito aplicações – sete unidades criadas mais os setores censitários. A variação entre os valores mínimos e máximos da caminhabilidade demonstrou divergências na agregação das variáveis em diferentes unidades espaciais, embora tenha sido utilizado o mesmo banco de dados. No entanto, os valores médios da caminhabilidade nas estratégias criadas ficaram próximos de zero. O valor mudou apenas quando a caminhabilidade foi calculada nos setores censitários, que reportaram um valor de média caminhabilidade entre 2,7 e 4,5.

As unidades E3 (750 m), E5 (forma urbana semelhante) e E6 (valores semelhantes de integração), representadas na Figura 2, resultaram em correlações fracas e com valores muito próximos, mostrando pouca associação entre o índice de caminhabilidade calculado por essas unidades e os níveis de caminhada.

Tabela 1 - Correlação de Spearman - metros caminhados x índice de caminhabilidade

Unidade espacial	Correlação ( $\rho$ )
E1 – Macrozonas	0,50
E2 – 400 m	0,44
E3 – 750 m	0,24
E4 – Valor Venal	0,44
E5 – Forma Urbana	0,23
E6 – Integração	0,28
E7 – Integração + Escolha	0,44
Setores Censitários – IBGE (INSTITUTO..., 2010)	0,09

Figura 2 - Índice de caminhabilidade e correlações - E3, E4, E5, E6



**Legenda:** D.RES: Densidade residencial; D.INT: Densidade de interseções; TX. O.C: taxa de ocupação comercial; USO MIS.: Uso Misto do Solo (Entropia); INDEX: Índice de Caminhabilidade (Frank et al, 2010); M. A PÉ: Metros a pé caminhados (níveis de caminhada).

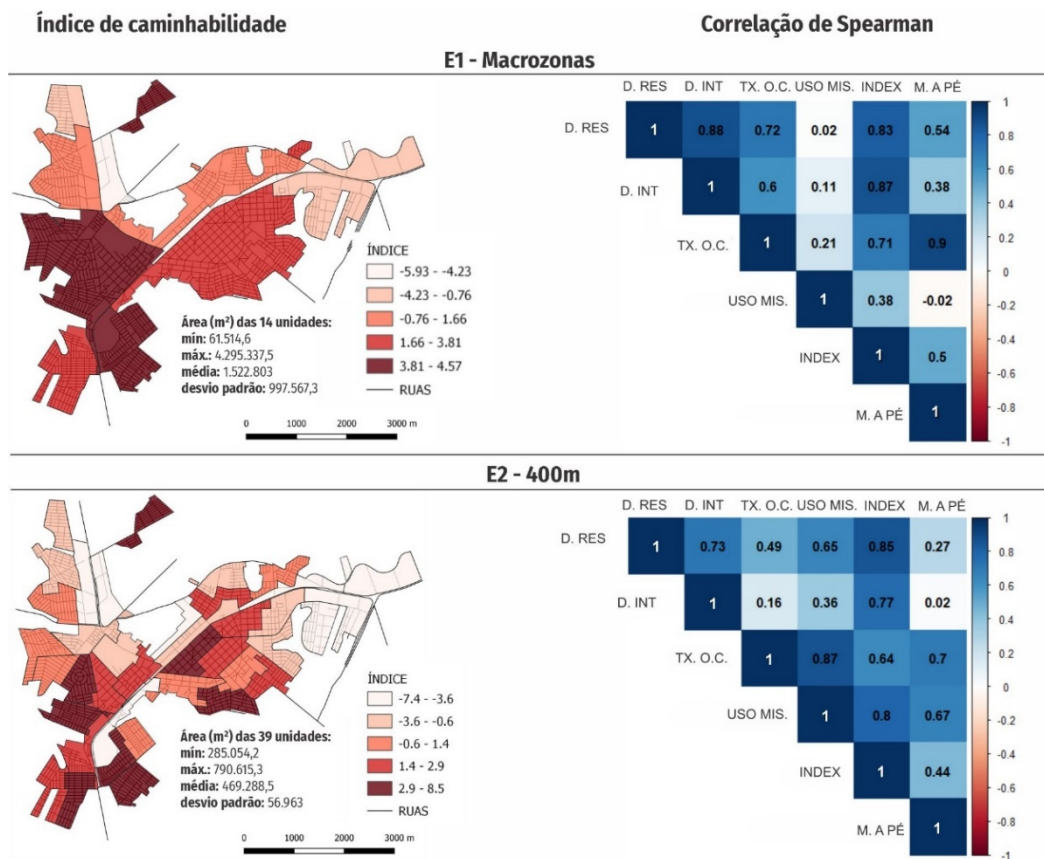
Os resultados mostraram que áreas maiores (14 unidades em média com 1.522.803 m<sup>2</sup>), como as E1 – Macrozonas (Figura 3), tendem a conter um agrupamento maior das variáveis e dos níveis de caminhada, fazendo com que ambos os dados sejam mais fortemente correlacionados, resultado similar ao da pesquisa desenvolvida por Yang, Hu e Wang (2018). Em contrapartida, seus resultados podem ser mascarados justamente em virtude da escala, visto que áreas de maiores dimensões agrupam a média de valores de áreas altamente caminháveis com as de baixa caminhabilidade. Essa falta de precisão dos resultados dificulta a identificação de áreas específicas para intervenções espaciais. Unidades pequenas são comparadas a unidades com extensões maiores. Assim, o efeito de zoneamento também incide nessa primeira estratégia (E1), uma vez que a delimitação das áreas não possui critérios suficientes para torná-las homogêneas internamente.

Na Estratégia 2 (Figura 3), a análise mostrou que áreas com tamanhos semelhantes (39 unidades em média com 469.288,5 m<sup>2</sup>) podem fazer com que as variáveis de densidades como intersecções, residências ou entropia por área sejam divididas por uma mesma proporção em todas as áreas. Infere-se que os resultados obtidos com esse procedimento identificam com maior precisão a concentração das variáveis analisadas.

Considerando o pressuposto traçado pela compacidade das áreas, as unidades, baseadas numa área circular de 400 m, mostraram resultados similares à utilização de *buffers* ou *grids* com a mesma medida em outros estudos, em que o uso de *buffers* mostrou associação positiva entre uso misto e acesso a destinos de caminhada (LEÃO *et al.*, 2020a).

Os valores de correlação entre os metros caminhados e o índice de caminhabilidade na área definida a partir da Estratégia 4 – valor venal semelhante (Figura 2) (37 unidades em média com 505.042,9 m<sup>2</sup>) obtiveram a segunda relação mais forte, com valor de 0,44. Assim, infere-se que as áreas delimitadas por esta estratégia possam ter permitido interpretar com mais eficácia a composição das variáveis vinculadas à maior qualidade do espaço urbano para a caminhada.

Figura 3 - Índice de caminhabilidade e correlações - E1 e E2



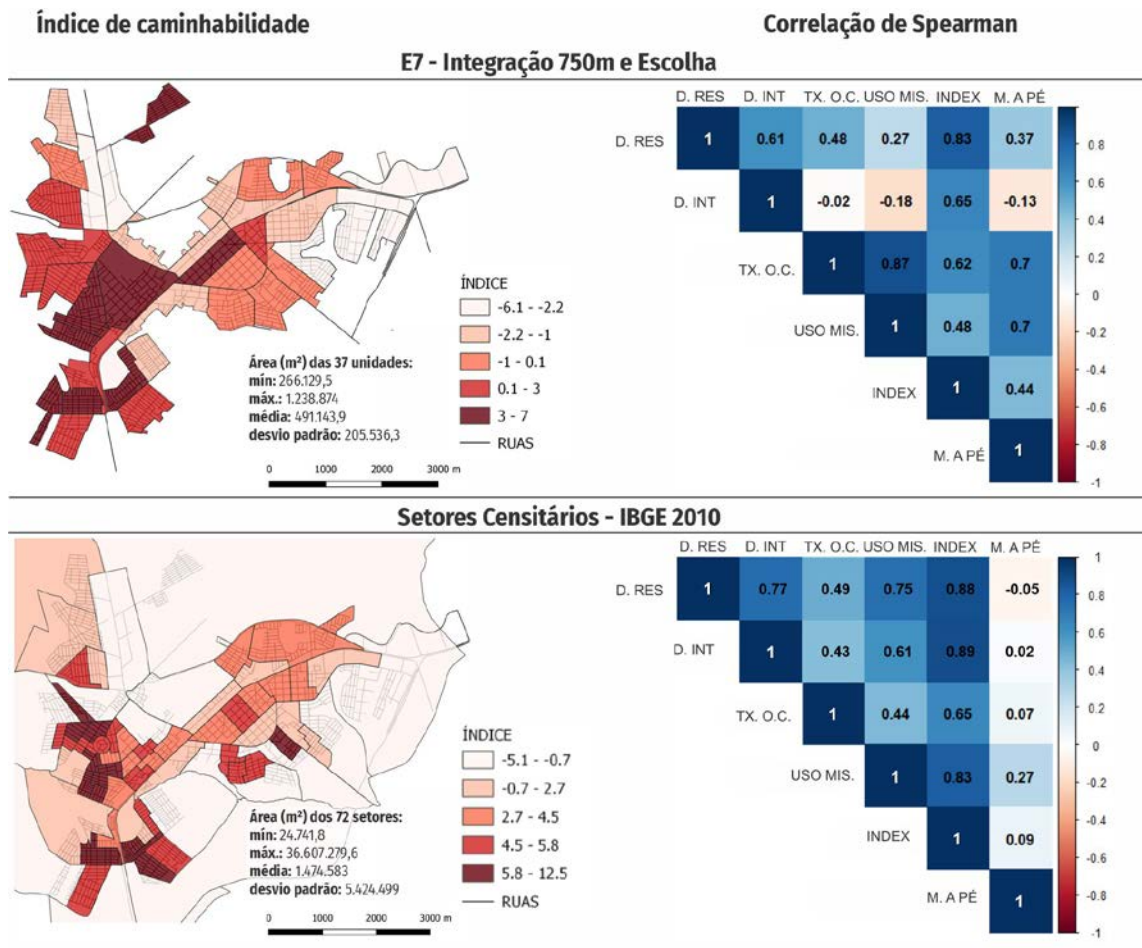
**Legenda:** D.RES: Densidade residencial; D.INT: Densidade de intersecções; TX. O.C: taxa de ocupação comercial; USO MIS.: Uso Misto do Solo (Entropia); INDEX: Índice de Caminhabilidade (Frank et al, 2010); M. A PÉ: Metros a pé caminhados (níveis de caminhada).

Na E7 – Integração + Escolha (Figura 4) (37 unidades em média com 491.143,9 m<sup>2</sup>), partiu-se do pressuposto de que áreas de valores de integração semelhantes tivessem a mesma acessibilidade e as ruas com maior valor de escolha fossem seus limites. Os resultados indicaram correlações entre o uso misto do solo e a taxa de ocupação comercial em relação aos metros caminhados de 0,7, equivalentes ao índice de caminhabilidade proposto por Koohsari *et al.* (2016).

Como esperado, os setores censitários (72 setores com média de 1.474.583 m<sup>2</sup>) tiveram a menor associação entre o índice de caminhabilidade e os níveis de caminhada, com um valor de 0,09, e todas as correlações em relação aos metros caminhados apresentaram coeficientes próximos a zero, indicando pouca associação (Figura 4), o que reforça as evidências de pesquisas anteriores (ZHANG; KUKADIA, 2005; RIVA *et al.*, 2008; FRANK *et al.*, 2017; MOTOMURA; FONTOURA; KANASHIRO, 2018; LEÃO *et al.*, 2020b).

Acrescenta-se que no estudo de caso os setores censitários delimitam áreas urbanizadas e áreas não urbanizadas, podendo apresentar valores minorados de densidade residencial e de intersecções. Além disso, têm grande variação em seus tamanhos. Embora o uso de setores administrativos ou censitários como unidades de agregação dos dados para análise da caminhabilidade seja frequente, tais áreas não são adequadas para a avaliação do ambiente construído como suporte à caminhada.

Figura 4 - Índice de caminhabilidade e correlações - E7 e setores censitários IBGE 2010



**Legenda:** D.RES: Densidade residencial; D.INT: Densidade de intersecções; TX. O.C: taxa de ocupação comercial; USO MIS.: Uso Misto do Solo (Entropia); INDEX: Índice de Caminhabilidade (Frank et al, 2010); M. A PÉ: Metros a pé caminhados (níveis de caminhada).

Ainda, buscando compreender a influência individual de cada variável nos níveis de caminhada, verificou-se que as variáveis que mais se correlacionaram aos níveis de caminhada ao longo das estratégias foram a taxa de ocupação comercial e o uso misto do solo, aparecendo como os maiores valores em sete e seis vezes respectivamente nas oito aplicações. As variáveis de densidade residencial e densidade de intersecções estão fortemente correlacionadas e possuem correlação baixa com as variáveis de uso misto do solo e taxa de ocupação comercial. Isso ocorre porque os locais que têm maior densidade de intersecções e de densidade residencial são, na maioria, conjuntos habitacionais, que possuem baixo número de usos não residenciais. Assim, a Estratégia 3, mesmo tendo grandes áreas como a Estratégia 1, possui valores de correlação altos entre o índice de caminhabilidade e a densidade de intersecções e a densidade residencial. Por ter suas unidades segregando os centros dos conjuntos habitacionais, o índice de caminhabilidade calculado na Estratégia 3 tem baixa correlação com o deslocamento a pé, visto que este está associado a usos não residenciais.

As conclusões desta pesquisa vão ao encontro de resultados de outros estudos. Como visto por Clark e Scott (2014), a taxa de ocupação comercial foi consistentemente relacionada ao aumento da atividade física. Sabe-se também que associações entre uso misto, variedade de destinos e níveis de caminhada sugerem que tais variáveis podem aumentar as viagens a pé (GUNN *et al.*, 2017). Em outras aplicações do índice de caminhabilidade, em diversas escalas e áreas, viu-se que o uso misto do solo foi a característica que mais influenciou a caminhada para transporte (LEARNIHAN *et al.*, 2011).

Sabe-se que a taxa de ocupação comercial foi formulada no contexto norte-americano, pensada para verificar até que ponto os lotes comerciais com grandes áreas de estacionamento que não encorajam o deslocamento a pé, típicas daquele país (“*big box stores*”), fossem consideradas no índice (LESLIE *et al.*, 2007). No entanto, na realidade das cidades brasileiras em geral e em Rolândia em particular, essa tipologia é rara. Isso faz com que a taxa de ocupação comercial acabe por evidenciar a presença ou não de edificações comerciais.

Assim, é necessária uma futura investigação e questionamento sobre a presença da variável de taxa de ocupação comercial nos índices que calculam a caminhabilidade em cidades brasileiras. Observou-se que a proporção em si potencializa o valor do índice de caminhabilidade, e a presença do comércio como local de destino – final ou intermediário – é um fator de atração para o deslocamento a pé, indicando a necessidade de aprofundamento de mensuração dessa variável.

## Conclusão

Esta pesquisa demonstrou que as associações entre o fluxo de caminhada e o índice de caminhabilidade são dependentes da escala e da delimitação das áreas utilizadas para agregação dos dados para a análise. Portanto, ao traçar novas unidades para a avaliação da caminhabilidade, concluiu-se que estratégias de definição de áreas homogêneas em relação às variáveis que influenciam o deslocamento a pé e de maior compacidade podem definir melhor a relação ambiente-comportamento ativo.

Os resultados reafirmaram a inadequação dos setores censitários brasileiros para a avaliação do ambiente construído como suporte à caminhada. Essas unidades apresentam grande heterogeneidade em seus formatos e na maneira como definem suas dimensões e limites. Assim sendo, a conveniência por dados não justifica sua utilização.

O comportamento da caminhada é complexo e influenciado por inúmeras variáveis ambientais e interpessoais. Sabe-se ainda que o índice de caminhabilidade aplicado é uma ferramenta para uma avaliação rápida e inicial do ambiente construído como suporte à caminhada. Portanto, para buscar associações mais efetivas, outros métodos para avaliação do ambiente construído podem ser utilizados como complemento ao índice, como avaliações na microescala e aspectos subjetivos.

No entanto, deve-se apontar algumas limitações da pesquisa. As rotas utilizadas para correlação e validação das estratégias foram simuladas a partir de dados secundários de origem e destino com o critério de menor distância entre os pontos, portanto não representando necessariamente viagens a pé realmente realizadas. Para a correlação, as amostras utilizadas foram pequenas e os dados não apresentaram normalidade.

Apesar das limitações, a pesquisa evidenciou que a definição de unidades espaciais para a avaliação do ambiente construído deve ser contextual e atender aos objetivos da pesquisa. A mudança da unidade de agregação dos dados pode mascarar os resultados, fato que pode comprometer investimentos públicos para a melhoria da infraestrutura para o deslocamento a pé.

Com o avanço dos procedimentos de geoprocessamento, a avaliação do ambiente construído pode ser realizada em tempo real e em diversas escalas e unidades espaciais se houver a disponibilidade de dados abertos em níveis de parcela. Assim, acredita-se que essas informações somadas à crescente disponibilidade de dados de



mobilidade urbana poderão subsidiar políticas públicas para tornar as cidades mais caminháveis e, por consequência, mais saudáveis e sustentáveis. Nesse sentido, o planejamento urbano poderá avançar nas análises e contribuir no debate para tornar as avaliações do ambiente sensíveis à escala e mais próximas do comportamento real da caminhada.

## Referências

ARELLANA, J. *et al.* Urban walkability considering pedestrians' perceptions of the built environment: a 10-year review and a case study in a medium-sized city in Latin America. **Transport Reviews**, v. 40, n. 2, p. 183-203, mar. 2020.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. **Sistema de informações da mobilidade urbana**: relatório geral 2016. 2018. Disponível em: <http://files.antp.org.br/simob/simob-2016-v6.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2022.

BEREITSCHAFT, B.; SCHELLER, D. How might the COVID-19 Pandemic affect 21<sup>st</sup> Century urban design, planning, and development? **Urban Science**, v. 4, n. 4, p. 56, 2020.

BORUFF, B. J.; NATHAN, A.; NIJËNSTEIN, S., Using GPS technology to (re)-examine operational definitions of "neighbourhood" in place-based health research. **International Journal of Health Geographics**, v. 11, p. 22, 2012.

BRASIL. **Lei nº 12.587**, de 3 de janeiro de 2012. Política Nacional de Mobilidade Urbana. Planalto. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm). Acesso em: 5 fev. 2022.

CERVERO, R.; KOCKELMAN, K. Travel demand and the 3Ds: density, diversity, and design. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 2, n. 3, p. 199-219, 1997.

CLARK, A.; SCOTT, D. Understanding the impact of the modifiable areal unit problem on the relationship between active travel and the built environment. **Urban Studies**, v. 51, n. 2, p. 284-299, 2014.

COCKINGS, S.; MARTIN, D. Zone design for environment and health studies using pre-aggregated data. **Social Science and Medicine**, v. 60, n. 12, p. 2729-2742, Jun. 2005.

CRUCITTI, P.; LATORA, V.; PORTA, S. Centrality measures in spatial networks of urban streets. **Physical Review E**, v. 73, n. 3, p. 36125, mar. 2006.

CURTIS, A. *et al.* The mystery of the Z-Score. **AORTA**, v. 4, n. 4, p. 124-130, ago. 2016.

ELLIS, G. *et al.* Connectivity and physical activity: using footpath networks to measure the walkability of built environments. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 43, n. 1, p. 130-151, 2016.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Districting for ArcGIS**. Disponível em: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/districting-for-arcgis/overview>. Acesso em: 06 jan. 2023.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Ferramenta conectar origens aos destinos**. Disponível em: <http://doc.arcgis.com/pt-br/arcgis-online/analyze/connect-origins-to-destinations.htm>. Acesso em: 10 set. 2019.

FLOWERDEW, R.; MANLEY, D. J.; SABEL, C. E. Neighbourhood effects on health: does it matter where you draw the boundaries? **Social Science and Medicine**, v. 66, n. 6, p. 1241-1255, 2008.

FRANK, L. D. *et al.* International comparison of observation-specific spatial buffers: maximizing the ability to estimate physical activity. **International Journal of Health Geographics**, v. 16, jan. 2017.

FRANK, L. D. *et al.* The development of a walkability index: application to the neighborhood quality of life study. **British Journal of Sports Medicine**, v. 44, n. 13, p. 924-933, 2010.

GIL, J. **Space Syntax Toolkit for QGIS**. Version 0.1.0, Open Source, 2014. Disponível em: <https://github.com/SpaceGroupUCL/qgisSpaceSyntaxToolkit>. Acesso em: 5 fev. 2022.

GILES-CORTI, B. *et al.* The co-benefits for health of investing in active transportation. **New South Wales Public Health Bulletin**, v. 21, n. 5-6, p. 122-127, 2010.

GROAT, L.; WANG, D. **Architectural research methods**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2013.

GUNN, L. D. *et al.* Identifying destination distances that support walking trips in local neighborhoods. **Journal of Transport & Health**, v. 5, n. SI, p. 133-141, Jun. 2017.



GUO, D.; WANG, H. Automatic region building for spatial analysis. **Transactions in GIS**, v. 15, suppl. 1, p. 29-45, 2011.

HILLIER, B. *et al.* Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 20, n. Sept. 1989, p. 29-66, 1993.

HILLIER, B. Spatial sustainability in cities organic patterns and sustainable forms. In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 7., Stockholm, 2009. **Proceedings [...]** Stockholm, 2009.

HILLIER, B.; YANG, T.; TURNER, A. Normalising least angle choice in depthmap, and how it opens up new perspectives on the global and local analysis of city space. **Journal of Space Syntax**, v. 3, n. 2, p. 155-193, 2012.

HURVITZ, P. M.; MOUDON, A. V. Home versus nonhome neighborhood quantifying differences in exposure to the built environment. **American Journal of Preventive Medicine**, v. 42, n. 4, p. 411-417, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**: guia do censo. Operação censitária. 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/materiais/guia-do-censo/operacao-censitaria.html>. Acesso em: 21 abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Divisão urbano-regional do Brasil**. 2. ed. Brasília, 2021b.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas da população**. 2021a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>. Acesso em: 31 maio 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Regiões de influência das cidades**. Brasília, 2018.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SOCIAL. **PlanMob**: Plano Municipal de Mobilidade Urbana de Rolândia-PR. Rolândia, 2018.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Caderno Estatístico Município de Rolândia**. Rolândia, 2019.

KOOHSARI, M. J. *et al.* Street network measures and adults' walking for transport: application of space syntax. **Health and Place**, v. 38, p. 89-95, 2016.

KRAFTA, R. **Notas de aula de morfologia urbana**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2014.

KRETZER, G.; SABOYA, R. T. Tipos arquitetônicos e diversidade de usos do solo: uma análise em duas escalas | Architectural types and land use diversity: an analysis in two scales. **Oculum Ensaios**, v. 17, p. 1, 2020.

LEÃO, A. L. F. *et al.* Agregação de dados para análise da caminhabilidade: um estudo empírico. **Urbe**, v. 12, p. 1-14, 2020b.

LEÃO, A. L. F. *et al.* Walkability variables: an empirical study in Rolândia – PR, Brazil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 475-488, abr./jun. 2020a.

LEARNIHAN, V. *et al.* Effect of scale on the links between walking and urban design. **Geographical Research**, v. 49, n. 2, p. 183-191, 2011.

LESLIE, E. *et al.* Objectively assessing 'walkability' of local communities: using GIS to identify the relevant environmental attributes. **Lecture Notes in Geoinformation and Cartography**, n. 199039, p. 90-104, 2007.

MOTOMURA, M. C. N.; FONTOURA, L. C.; KANASHIRO, M. Understanding walkable areas: applicability and analysis of a walkability index in a Brazilian city. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 413-425, out./dez. 2018.

OPENSHAW, S. The modifiable areal unit problem. **Journal of the American Statistical Association**, v. 29, n. 185, p. 169, 1984.

OPENSHAW, S.; RAO, L. Algorithms for Reengineering 1991 Census Geography. **Environment and Planning A: Economy and Space**, v. 27, n. 3, p. 425-446, 1995.

- OWEN, N. *et al.* Neighborhood walkability and the walking behavior of Australian adults. **American Journal of Preventive Medicine**, v. 33, n. 5, p. 387-395, 2007.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE ROLÂNDIA. **Base cartográfica**. Rolândia: PMR, 2018.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project, 2018. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org/>. Acesso em: 5 fev. 2022.
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2019. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 5 fev. 2022.
- RIVA, M. *et al.* Establishing the soundness of administrative spatial units for operationalising the active living potential of residential environments: an exemplar for designing optimal zones. **International Journal of Health Geographics**, v. 7, jul. 2008.
- SALLIS, J. F. *et al.* An ecological approach to creating active living communities. **Annual Review of Public Health**, v. 27, n. 1, p. 297-322, 2006.
- SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO URBANO E DE OBRAS PÚBLICAS. SEDU. Paranaidade Interativo. **Pesquisa avançada**. Disponível em: [https://paranainterativo.pr.gov.br/apps/pesquisa\\_avancada/#](https://paranainterativo.pr.gov.br/apps/pesquisa_avancada/#). Acesso em: 18 maio 2022.
- SHANNON, C. E. A mathematical theory of communication. **Bell System Technical Journal**, v. 27, n. 3, p. 379-423, 1948.
- SOUTHWORTH, M. Designing the walkable city. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 131, n. 4, p. 246-257, 2005.
- STAFFORD, M.; DUKE-WILLIAMS, O.; SHELTON, N. Small area inequalities in health: are we underestimating them? **Social Science and Medicine**, v. 67, n. 6, p. 891-899, 2008.
- TALLEN, E.; KOSCHINSKY, J. The walkable neighborhood: a literature review. **International Journal of Sustainable Land Use and Urban Planning**, v. 1, n. 1, p. 42-63, 2013.
- TRIBBY, C. P. *et al.* Assessing built environment walkability using activity-space summary measures. **Journal of Transport and Land Use**, v. 9, n. 1, p. 187-207, 2 jun. 2015.
- VARGAS, J. C. B. **Forma urbana e rotas de pedestres**. Porto Alegre, 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- VAUGHAN, L. The spatial syntax of urban segregation. **Progress in Planning**, v. 67, n. 3, p. 205-294, 2007.
- YANG, L.; HU, L.; WANG, Z. The built environment and trip chaining behaviour revisited: the joint effects of the modifiable areal unit problem and tour purpose. **Urban Studies**, v. 56, n. 4, p. 795-817, mar. 2018.
- YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2001.
- ZHANG, M.; KUKADIA, N. Metrics of urban form and the modifiable areal unit problem. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 1902, n. 1, p. 71-79, 2005.
- ZHAO, J.; EXETER, D. J. Developing intermediate zones for analysing the social geography of Auckland, New Zealand. **New Zealand Geographer**, v. 72, n. 1, p. 14-27, 2016.

## Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio e incentivo financeiro, e ao Grupo de Pesquisa Design Ambiental Urbano, pelo suporte.

**Leticia Cabrera**

Conceitualização, Curadoria de dados, Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Validação de dados e experimentos, Design da apresentação de dados, Redação - revisão e edição.

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Arquitetura e Urbanismo | Universidade Estadual de Londrina | Rod. Celso Garcia Cid, PR-445, Km 380, Campus Universitário | Londrina - PR - Brasil | CEP 86057-970 | Tel.: (43) 3371-4727 | E-mail: leticia.cabrera@uel.br

**Ercília Hitomi Hirota**

Pesquisa, Metodologia, Validação de dados e experimentos, Redação - revisão e edição.

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo | Universidade Estadual de Londrina | E-mail: ercilia@uel.br

**Julio Celso Borello Vargas**

Conceitualização, Validação de dados e experimentos, Redação - revisão e edição.

Departamento de Urbanismo | Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Rua Sarmento Leite, 320 | Porto Alegre - RS - Brasil | CEP 90050-170 | Tel.: (51) 3308-3123 | E-mail: julio.celso@ufrgs.br

**Milena Kanashiro**

Conceitualização, Análise de dados, Metodologia, Supervisão, Validação de dados e experimentos, Redação - revisão e edição.

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Arquitetura e Urbanismo | Universidade Estadual de Londrina | E-mail: milena@uel.br

***Ambiente Construído***

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

[www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido](http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido)

[www.scielo.br/ac](http://www.scielo.br/ac)

E-mail: [ambienteconstruido@ufrgs.br](mailto:ambienteconstruido@ufrgs.br)



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.