



ORIGINAL
ORIGINAL

Editora

Patrícia Samora e
Renata Baesso Pereira

Conflito de interesses

Não há conflito de interesses.

Apoio

Fundação Coordenação de
Aperfeiçoamento de Pessoal de
Nível Superior (Bolsa de mestrado
concedida a André Silva Olak).

Recebido

11 jul. 2023

Versão Final

13 nov. 2024

Aprovado

27 nov. 2024

A influência do uso não residencial no deslocamento a pé: um estudo empírico

Non-residential land use influence on walking: an empirical study

André Silva Olak¹ , Milena Kanashiro¹ , Eloísa Ribeiro Rodrigues¹ 

¹ Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Londrina, PR, Brasil. Correspondência para /Correspondence to: M. Kanashiro. E-mail: milena@uel.br

Artigo elaborado a partir da dissertação de A. Silva Olak, intitulada "Ambiente construído e caminhabilidade: influência do uso do solo no deslocamento a pé". Universidade Estadual de Londrina, 2019.

Como citar este artigo/How to cite this article: Olak, A. S.; Kanashiro, M.; Rodrigues, E. R. A influência do uso não residencial no deslocamento a pé: um estudo empírico. *Oculum Ensaios*, v. 22, e258805, 2025. Doi: <https://doi.org/10.24220/2318-0919v22e2025a8805>

Resumo

A caminhabilidade refere-se à qualidade do ambiente urbano que favorece a caminhada como meio de deslocamento, sendo cada vez mais reconhecida como uma característica desejável no planejamento urbano contemporâneo. Estudos recentes indicam que a diversidade do uso do solo e a configuração urbana desempenham papel fundamental no estímulo ao deslocamento a pé. O objetivo desta pesquisa foi estimar, por meio de um estudo empírico no município de Rolândia (PR), considerado de porte médio e representativo da maioria das cidades paraenses, a influência dessas variáveis no deslocamento a pé. Para tanto, dados provenientes de uma pesquisa de origem e destino foram organizados em plataformas de geoprocessamento, permitindo a análise da relação entre o uso do solo e a configuração urbana, em diferentes escalas. Os resultados de modelos estatísticos de regressão indicaram que essas características explicam aproximadamente 30% do deslocamento a pé. A pesquisa contribui para uma melhor compreensão dos fatores que compõem a caminhabilidade e oferece subsídios importantes para o debate sobre o desenvolvimento de cidades mais sustentáveis, tanto do ponto de vista econômico quanto social e ambiental.

Palavras-chave: Caminhabilidade. Centralidades. Sintaxe Espacial. Uso misto do solo.

Abstract

Walkability refers to the quality of the urban environment that encourages walking as a mode of transportation, increasingly recognized as a desirable characteristic in contemporary urban planning. Recent studies indicate that land use diversity and urban configuration play a key role in promoting walking. The aim of this research was to estimate, through an empirical study conducted in the city of Rolândia-PR, considered a medium-sized municipality representative of most cities in Paraná, the influence of these variables on pedestrian mobility. To achieve this, data from an origin-destination survey were organized using geoprocessing platforms, allowing for the analysis of the relationship between land use and urban configuration at different scales. The results of statistical regression models indicated that these factors account for approximately 30% of pedestrian movement. This study contributes to a better understanding of the factors that constitute walkability and provides valuable insights for the debate on the development of more sustainable cities, both economically and socially, as well as environmentally.

Keywords: Walkability. Centrality. Space Syntax. Land Use Mix.

Introdução

Uma das discussões emergentes no campo do planejamento urbano é a da mobilidade ativa nas cidades, realizado por meio do uso de bicicleta ou caminhada e, pela sua natureza, se relaciona diretamente com a saúde e a qualidade de vida (Sallis *et al.*, 2009, Campoli, 2012; Christian *et al.*, 2011). Neste debate os atributos do ambiente construído têm sido correlacionados com o comportamento de caminhada e, em áreas que oferecem suporte a esta prática têm sido chamadas de ‘caminháveis’ (Sevtsuk 2010, Cervero; Kockelman, 1997). Logo, tem-se o conceito de caminhabilidade relacionada às características do ambiente construído e do uso do solo as quais podem ou não ser propícias para caminhadas para lazer, exercício ou recreação e para acessar serviços ou se deslocar para o trabalho (Leslie; Butterworth; Edwards, 2006).

Entre os componentes do ambiente construído relacionados ao deslocamento a pé como a densidade residencial, a densidade de intersecções, uso misto do solo e a proporção de área destinada para o varejo (Bordoloi *et al.*, 2013; Christian *et al.*, 2011; Frank *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2018), o debate de como medir o uso do solo misto para análises de caminhabilidade não é totalmente compreendida.

A correspondência entre os dois fatores, caminhada e uso misto do solo, apresentam resultados diversos. A relação entre variáveis se mostrou positivamente correlacionadas com o deslocamento a pé (Frank *et al.*, 2010; Cervero; Kockelman, 1997), parcialmente correlacionadas dependendo das variações de uso (Brown *et al.*, 2009; Christian *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2018), ou até não relevante (Lu; Xiao; Ye, 2016).

Os resultados divergentes podem estar vinculados à opção de quantificação do uso do solo. Uma primeira forma é por meio das chamadas medidas de Riqueza, que segundo Batty *et al.* (2004) seria a forma bruta e mais simples, considerando apenas a existência de usos do solo diversos. Apesar disso, algumas pesquisas mostraram correspondências significativas com transportes não motorizados (Ewing; Cervero, 2010; Cervero; Duncan, 2003; Bhat; Gossen, 2004; Rodriguez; Joo, 2004).

Por outro lado, tem-se as medidas de equilíbrio, as quais consideram a proporcionalidade de cada uso. Surgiram do conceito original do index de Shannon (Shannon, 1949) e parece haver um consenso dessa métrica nas pesquisas, pois tem sido positivamente correlacionada com o deslocamento a pé (Bordoloi *et al.*, 2013; Duncan *et al.*, 2010; Cervero; Kockelman, 1997; Frank; Pivo, 1994; Frank *et al.*, 2010). Gehrke e Clifton (2014) testaram sete medidas de equilíbrio, e as melhores correspondências apontaram duas: a Entropia de Simpson e Hill’s ratio.

Nesta pesquisa retomamos o questionamento da lógica de espacialização do uso do solo misto e das abordagens configuracionais para entender a influência dos usos não residenciais no deslocamento a pé. Embora a maioria das pesquisas tenham sido desenvolvidas na área da Saúde e de Planejamento de Transportes, existem reflexões de outros campos disciplinares. Nas abordagens configuracionais, por exemplo, o uso do solo tem sido correlacionado com a sua localização em diversas pesquisas (Porta *et al.*, 2008, 2010, 2011; Sevtsuk, 2010; Kockelman, 1997, Netto *et al.*, 2017). Essas pesquisas procuram compreender essa relação a partir do fenômeno das centralidades, utilizando modelos configuracionais para quantificar essa característica (Hillier; Hanson, 1984; Hillier *et al.*, 1993; Hillier, 1996; Sevtsuk, 2010; Porta *et al.*, 2008, 2010, 2011; Lima, 2015). A correspondência entre o uso do solo e a configuração urbana ainda é explorada pela literatura, mas há um consenso entre autores de que o “padrão de organização” do uso do solo nas cidades segue uma lógica (Martin; March, 1972; Krafta, 2014; Porta *et al.*, 2010; Normando, 2006).

Considerando esses pressupostos apresentados e a exposição de argumentos que evidenciam a discussão atual sobre caminhabilidade, e das possíveis correspondências com a configuração urbana, questiona-se o quanto o uso do solo influencia o deslocamento a pé em cidades brasileiras. Ainda deve-se acrescentar que a maioria das cidades brasileiras são classificadas como médias e pequenas, e a maior parte das referências de pesquisas existentes foram desenvolvidas em grandes metrópoles e realizadas majoritariamente em países com economias desenvolvidas e especialmente do contexto norte-americano (Campoli, 2012; Cervero; Kockelman, 1997; Christian et al., 2011; Duncan et al., 2010; Ewing; Cervero, 2010; Frank et al., 2010), onde os modelos de cidades se diferenciam do contexto brasileiro.

Para entender o fenômeno, foi realizado um estudo empírico em uma cidade média brasileira localizada no Paraná. Na busca de inferir comportamentos socioespaciais, o deslocamento a pé com as variáveis de uso do solo e da configuração urbana, definiu-se como metodologia a análise correlacional (Groat; Wang, 2002) no uso de análises estatísticas para alcançar o objetivo geral da pesquisa: medir a influência do uso do solo e da configuração urbana no deslocamento a pé.

Uma compreensão mais aprofundada do espaço construído e sua influência em comportamentos sociais, como o deslocamento a pé, pode contribuir para o aprimoramento das políticas públicas de planejamento e regulação urbana. Esta pesquisa, portanto, não apenas favorece a compreensão do espaço urbano, mas também apoia o desenvolvimento de cidades mais sustentáveis do ponto de vista econômico, social e ambiental.

Procedimentos Metodológicos

A pesquisa abordou o fenômeno por meio de um estudo empírico realizado na cidade de Rolândia-PR, escolhida por permitir uma análise adequada das questões de pesquisa. A principal razão para essa escolha foi a disponibilidade de um banco de dados de pesquisas de origem e destino, que possibilitou a análise do fenômeno relacionado ao deslocamento a pé. Esses dados fazem parte de um plano de mobilidade e foram coletados a partir de questionários aplicados em 2017, com uma amostra de 776 domicílios selecionados por amostragem probabilística e calculados a partir da população da cidade. Nos questionários, foram registrados os hábitos de deslocamento dos moradores de cada domicílio ao longo de uma semana, incluindo o modal de transporte utilizado, assim como os endereços de origem e destino. Rolândia é uma cidade relativamente nova, fundada em 1947 e ainda em expansão, atualmente com 64.726 habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018), o que a torna representativa dos 95,5% dos municípios do Paraná com menos de 100 mil habitantes. Além disso, a localização geográfica da cidade, que não apresenta conurbação, impede a interferência de sistemas urbanos de cidades vizinhas (Figura 1).

Os procedimentos metodológicos adotados foram divididos em quatro etapas: em primeiro lugar a sistematização e quantificação de dados do deslocamento a pé; em segundo a quantificação de medidas de centralidades (desenvolvidas pela representação de redes espaciais urbanas do estudo de caso); em terceiro lugar, o levantamento, sistematização e quantificação de dados de uso do solo; em seguida e, por fim, análises estatísticas.

Utilizou-se como fonte de dados do deslocamento a pé os questionários. Esses foram sistematizados em plataformas de geoprocessamento: os pontos de origem, destino e as rotas de todas as viagens foram georreferenciadas e conectados em uma rota deduzida a partir da configuração de ruas e do modo de transporte. A partir da sobreposição dessas rotas na malha urbana foi desenvolvido um mapa de carregamento de vias que quantifica quantas vezes cada segmento de rua foi utilizado para uma rota a pé (Figura 2).

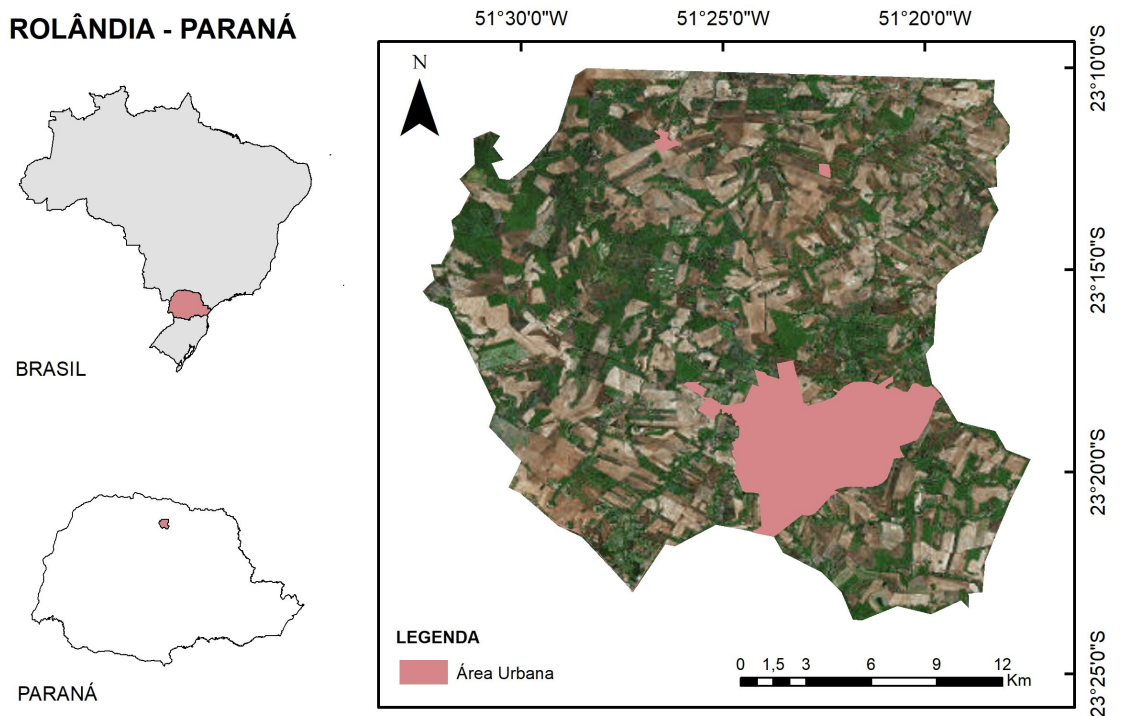
ROLÂNDIA - PARANÁ

Figura 1 – Localização do município de Rolândia (PR).

Fonte: Elaborada pelo autor.

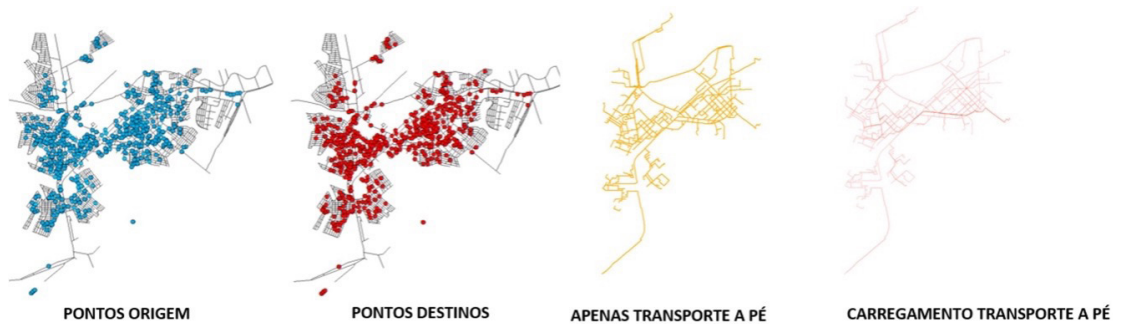


Figura 2 – Espacialização dos questionários de Origem-destino.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Em relação aos diferentes modelos de centralidades foram selecionados dois da Sintaxe espacial – Integração e Escolha – e três do MCA – Acessibilidade, Alcance e Interposição (Quadro 1). As medidas de Integração e Escolha, pertencentes à sintaxe espacial foram calculadas no programa QGIS (QGIS Development Team, de 2018) pela extensão Depthmap e as medidas de Alcance, Interposição e Eficiência pela extensão UNA (Sevtsuk; Mekonnen, 2012) para ArcGis v.10.5. Os mapas sintáticos (Figura 3) para ambas as medidas foram calculados de duas formas diferentes: por vias axiais e passos topológicos (2, 3, 4, 6 e 8 passos) e por segmentos de via e raios métricos (nos raios 200, 400, 600, 800, 1000, 2000, 4000, 6000, 8000 e global).

O próximo procedimento da pesquisa foi a quantificação do uso solo. Neste estudo de caso, dados do uso do solo não estavam disponíveis de forma sistematizada. Foi necessária a realização de levantamentos a partir de duas fontes principais: levantamento via imagens Google Earth e Google street view (tiradas entre 2015 e 2017) e, no caso de incertezas de informações na primeira fonte, foram realizadas conferência *in loco* (no ano de 2017). Dentre as várias possibilidades de

Quadro 1 – Medidas de usos do solo e de configuração.

Uso do Solo	Configuração Urbana
Índice de Riqueza de uso do solo por Batty.	Modelo de Centralidade por Integração.
Índice de Equilíbrio do uso do solo por Shannon.	Modelo de Centralidade por Escolha.
Índice de Equilíbrio do uso do solo por Hill.	Modelo de Centralidade por Escolha.
Índice de Equilíbrio do uso do solo por Simpson.	Modelo de Centralidade por Interposição.

Fonte: Elaborado pelo autor.

classificação de uso do solo disponíveis na literatura revisada, foi escolhida a de Frank *et al.* (2010) em 5 categorias: residencial, comercial, serviços, entretenimentos e institucional, por ter sido definida para pesquisas relacionadas à caminhabilidade. A definição dos usos do solo foi realizada em cada um dos 27.080 lotes, a partir do mapa base georreferenciado fornecido pela PMR (Prefeitura Municipal de Rolândia). Foram revisadas diversas formas de quantificação do uso misto. Dentre elas foram selecionados três índices que medem o equilíbrio entre as categorias do uso do solo (Shannon, Simpson e Hill) e uma que mensura a riqueza de usos (Batty *et al.*, 2004).

Outro procedimento necessário para a mensuração foi a definição da unidade espacial para agregação dos dados. Enquanto a maioria das pesquisas utilizou os setores censitários pela facilidade de obtenção de dados agregados (Frank; Pivo, 1994; Frank *et al.*, 2010; Koohsari *et al.*, 2016; Motomura, 2017), recentemente outras formas de divisão espacial e estratégias de análises multiescalares têm sido utilizadas (Sevtsuk; Kalvo, 2017; Frank *et al.*, 2010; Gehrke; Clifton, 2014). Essas estratégias objetivam minimizar os efeitos do MAUP (*Modifiable Area Unit Problem*) no qual resultados podem variar dependendo da escala de análise. Muitas delas utilizam buffers, como por exemplo, na análise de clusters comerciais, Sevtsuk e Kalvo (2017) definem o buffer a partir da distância percorrida na malha urbana, ao invés da distância euclidiana. Outra maneira é pela representação por trechos de rua, definida por um segmento de linha contido entre duas esquinas adjacentes (Krafta, 2014). Lima (2015) encontrou no uso dos segmentos de rua maior capacidade de correspondência estatística de medições de centralidade com a espacialização de atividades econômicas.

Visto o exposto, o mapa de rede de vias desenvolvido a partir do mapa base georreferenciado, foi dividido em segmentos de rua, conforme a definição de Krafta (2014). Para a seleção dos raios de análise, levou-se em consideração as distâncias mais frequentemente encontradas na pesquisa de origem destino. Baseado nessas informações e nos raios encontrados em análises da literatura, foram definidas as seguintes unidades espaciais de análise dos lotes associados aos segmentos de rua com usos não residenciais e em buffers de redes de vias de 200, 400 e 600 metros (Figura 3).

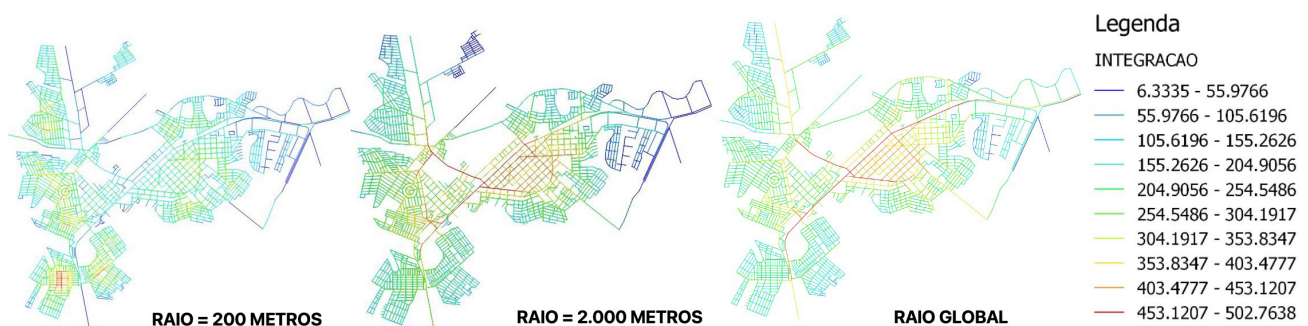


Figura 3 – Valores de Integração calculados por segmentos de via em 3 raios métricos diferentes.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir da definição das quatro escalas das unidades espaciais, considerando a natureza diferenciada dos dados, referente aos modelos de centralidade e uso do solo, definiu-se formas de agregação dos dados às unidades espaciais por somatória ou por cálculo da média. Além desses dados agregados às unidades espaciais em escalas diferentes, foram também calculados os valores de entropia para cada um deles. Todas as variáveis foram quantificadas e vinculadas às 2.333 unidades espaciais em cada uma das 4 escalas de análise (Quadro 2).

Quadro 2 – Relação das variáveis analisadas na pesquisa.

Dado primário	Fonte	Classe variável	Variáveis agregadas às unidades espaciais	Variável estatística
Banco de dados Origem-Destino	Itedes	Percurso caminhados	Total metros percorridos pelo modal a pé	dependente
			Total unidades residenciais	independente
			Total unidades comerciais	independente
			Total unidades serviço	independente
			Total unidades institucionais	independente
			Total unidades entretenimento	independente
			Índice de riqueza - Batty	independente
			Índice de equilíbrio de usos por unidade - Shannon	independente
Uso do solo por lote + Mapa base geoprocessado Rolândia	Levantamento de campo + PMR	Áreas	Total área residencial construída	independente
			Total área comercial construída	independente
			Total área serviço construída	independente
			Total área institucional construída	independente
			Total área entretenimento construída	independente
			Índice de equilíbrio de usos por área construída - shannon	independente
			Índice de equilíbrio de usos por área construída - simpson	independente
			Índice de equilíbrio de usos por área construída - hill	independente
Mapa base município	PMR	Modelos de centralidade urbana	Média integração das vias axiais (todos os 6 passos**)	independente
			Média integração dos segmentos de rua (todos os 10 raios*)	independente
			Média escolha das vias axiais (todos os 6 passos**)	independente
			Média escolha dos segmentos de rua (todos os 10 raios*)	independente
			Média de alcance dos segmentos de rua (todos os 10 raios*)	independente
			Média interposição dos segmentos de rua (todos os 10 raios*)	independente
			Média de eficiência dos segmentos de rua (todos os 10 raios*)	independente

Nota: * Raios calculados: 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 4000, 8000, global; ** Passos calculados: 2, 3, 4, 6, 8, global.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, para a definição das análises estatísticas, foram realizadas as correlações para a correspondência entre os metros caminhados por segmentos de rua, que constitui a variável dependente e os usos não residenciais e a configuração urbana como variáveis independentes.

Para a realização das análises, duas etapas distintas de regressão estatísticas foram realizadas: a primeira com dados selecionados, e a segunda com a seleção livre de dados. A regressão com dados selecionados foi realizada para analisar a contribuição individual do conjunto de variáveis relacionadas ao uso do solo. Assim, as variáveis foram selecionadas para estarem presentes no modelo e o efeito de cada uma pode ser analisado individualmente e, de forma comparada, entre as escalas de agrupamento.

A segunda, com a seleção livre dos dados, foi uma estratégia de verificar a relação, em conjunto, das variáveis explicativas (ou independentes) sobre a variável resposta (ou dependente), a partir da seleção de variáveis por meio da mineração de dados². Assim, a seleção das variáveis consideradas para o modelo de regressão foi automaticamente definida. O modelo de regressão utilizado foi o GAMLSS (*Generalized Additive Models for Location, Scale and shape*) implementados no pacote *gamlss* (Stasinopoulos; Rigby, 2007) do software R (R Core Team, 2018).

Resultados

A regressão dos dados selecionados (Quadro 3) permitiu analisar o comportamento das variáveis em diferentes escalas. Na escala dos segmentos de rua, observou-se uma influência considerável dos usos do solo, especialmente no caso dos usos não residenciais, que tiveram maior impacto do que as áreas dos buffers. Dentre as categorias de uso do solo, a quantidade de instituições foi a variável mais relevante para o deslocamento a pé. Além disso, a variável “Equilíbrio por Hill” apresentou os melhores resultados ao quantificar os usos não residenciais.

Na mineração de dados para as regressões, várias medidas de centralidade calculadas nos raios ou passos topológicos mostraram forte correlação. A medida de Integração obteve os melhores resultados em todos os buffers (200, 400 e 600 metros) quando agrupada em uma única variável. Assim, para a análise estatística, o cálculo das medidas de centralidade por raios não teve impacto significativo nos resultados.

A análise de regressão dos usos não residenciais revelou variações nas diferentes escalas. Na escala dos segmentos de rua, as variáveis relacionadas à quantidade de usos não residenciais tiveram maior influência na média de metros caminhados do que as variáveis relacionadas às áreas. Nos agrupamentos de 200 e 400 metros, os resultados foram intermediários, enquanto no buffer de 600 metros, as contribuições tanto de áreas quanto de quantidades foram semelhantes, embora ainda se possa observar um padrão de comportamento. À medida que o raio dos buffers aumentava, as variáveis relacionadas às classificações individuais de uso do solo mostraram menor influência sobre a média. A medida de Equilíbrio por Hill manteve-se importante, mas no buffer de 600 metros, o Equilíbrio de Shannon por área foi a variável de maior relevância.

Na análise, conclui-se que, na escala dos segmentos de rua, a posição central e a presença de unidades de uso não residencial contribuem diretamente para o fluxo de pedestres. Por outro lado, na escala ampliada da cidade, a mistura de usos, medida pela área construída, foi a variável com maior influência no deslocamento a pé.

² A mineração de dados é um procedimento metodológico estatístico no qual as variáveis são correlacionadas entre si e, aquelas que forem muito semelhantes (correlação maior do que 0,8) são agrupadas em uma só.

Quadro 3 – Variáveis com melhor efeito positivo na média da variável dependente nas análises de regressão de dados selecionados.

Segmentos		Buffers de 200 metros		Buffers de 400 metros		Buffers de 600 metros		
Variável	Estimativa	Variável	Estimativa	Variável	Estimativa	Variável	Estimativa	
1º	Equilíbrio por Hill	4.501	Equilíbrio por Hill	12.367	Equilíbrio por Hill	12.857	Entropia por Shannon	7.310
2º	Quantidade uso institucional	1.007	Entropia por Shannon	7.259	Entropia por Shannon	8.380		
3º	Quantidade uso comercial	0.535	Quantidade uso Entretenimento	0.142				
4º	Centralidade por integração	0.183						

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outros padrões também foram observados. As medidas de centralidade não tiveram grande impacto nas médias em relação às outras variáveis nos buffers. Além disso, as variáveis relacionadas ao uso residencial (tanto em termos de área quanto de unidades) frequentemente apresentaram relações não lineares com o modelo.

Os resultados das regressões com seleção livre de dados também mostraram variações entre as escalas de análise (Quadro 4). Nos segmentos de rua, a variável com maior capacidade explicativa do fluxo de pedestres foi a medida de Integração por passos, seguida pelas variáveis relacionadas à quantidade de uso do solo (Institucional e Serviço). Nos buffers de 200 e 600 metros, as medidas de centralidade continuaram relevantes, embora não tivessem maior impacto do que as variáveis de uso do solo não residencial. Além disso, conforme a escala analítica aumentava, observou-se um aumento no número de variáveis com relações não lineares com a distância percorrida a pé.

Quadro 4 – Variáveis com melhor efeito positivo na média da variável dependente nas análises de regressão livre de dados.

Segmentos	Buffers de 600 metros	
1º	Índice de Equilíbrio do uso do solo por Simpson	Modelo de Centralidade por Integração
2º	Modelo de Centralidade por Integração	
3º	Índice de Riqueza de uso do solo por Batty	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas análises das medidas de centralidade, foi verificado que elas tiveram maior influência na escala dos segmentos de rua. As medidas de sintaxe espacial demonstraram maior capacidade explicativa da variável dependente em comparação às medidas pelo MCA.

Ao comparar a regressão com a seleção livre de dados com a regressão anterior, observou-se que, nos segmentos de rua, o equilíbrio do uso do solo continuou a ser a variável mais influente, mas agora com o Equilíbrio de Simpson, calculado por área. Embora essa diferença tenha sido notada, durante as correlações, foi possível observar correlações muito altas entre diversas mensurações. O valor de Integração, calculado por vias axiais e passos, também apresentou relevância. A influência das unidades de uso do solo, observada nas regressões anteriores, foi representada pela variável riqueza como a terceira variável mais importante. Na escala de 600 metros, as variáveis

de uso do solo não apresentaram correlação significativa, com a única exceção sendo o modelo de centralidade por Integração, calculado por vias axiais e passos.

As análises de correlação entre a variável dependente (metros percorridos) e as medidas de uso misto do solo mostraram relações significativas. Embora a maior correlação linear com a variável dependente tenha sido com o Equilíbrio de Shannon por área, a medida de Hill obteve a melhor relação não linear, demonstrando maior capacidade explicativa. Quando considerada apenas a característica dos segmentos de rua, o Equilíbrio de Shannon por unidades teve a melhor correlação linear e não linear com os metros caminhados.

Apesar das diferenças nos resultados, observou-se que os índices de equilíbrio do uso misto do solo apresentaram frequentemente alta correlação entre si. Ao analisar os resultados em todos os agrupamentos, conclui-se que as medidas de Equilíbrio de Simpson e Equilíbrio de Shannon (tanto por área quanto por unidades) podem ser estatisticamente consideradas a mesma variável.

Discussão

A caminhabilidade é uma das temáticas de destaque emergentes no planejamento urbano e esta pesquisa avançou na análise dos efeitos do uso do solo sobre o deslocamento a pé. A partir do referencial teórico, a pesquisa levantou variáveis quantitativas na busca de estimar a influência do uso do solo no deslocamento a pé no estudo de caso e, baseado nos recursos estatísticos utilizados, puderam ser observados alguns padrões de comportamento das variáveis.

Os resultados apontaram efeitos vinculados principalmente à escala espacial de análise. Tal observação ratifica o problema do MAUP e a necessidade da realização deste tipo de pesquisa em diferentes escalas. Em menores escalas, como em seguimentos de rua, o uso do solo demonstrou ter grande influência no deslocamento a pé (Netto; Vargas; Saboya, 2012). Li *et al.* (2018) encontraram maior correlação com o uso comercial enquanto, no estudo de caso, o uso institucional apresentou o melhor desempenho na escala dos seguimentos de rua, muito provavelmente pelo fato de serem o destino de diversas viagens a trabalho e estudo, seguido pelo uso comercial e serviço.

Entende-se, pela literatura, que as atividades classificadas nesta pesquisa como comerciais, de serviços e entretenimento, necessitam de uma lógica de espacialização que deem suporte ao seu funcionamento. A mesma lógica não seria necessária para os usos residenciais e institucionais. Provavelmente por este motivo, o uso residencial apresentou em diversas vezes relação não linear com os metros caminhados e até negativa. Por outro lado, a forte relação entre o uso institucional com os percursos a pé, mesmo sem a necessidade dessa lógica espacial, demonstra o fator de atratividade deste uso para a caminhada.

Apesar da importância das influências individuais, uma das variáveis com a melhor capacidade de predição dos metros percorridos foram os índices de mensuração do uso misto do solo. No geral, assim como Gehrke e Clifton (2014), o índice de equilíbrio por Hill obteve melhores correlações através das escalas. E, em segundo lugar, o índice de equilíbrio de Shannon calculado por área construída – como o usado por Frank *et al.* (2010) e o de Duncan *et al.* (2010).

As análises no agrupamento por segmentos, no entanto, apresentaram resultados diferentes. Nas correlações, a medida de equilíbrio por Shannon calculada por unidades apresentou resultados positivos. As unidades de uso do solo também se mostraram importantes no agrupamento por segmentos por meio das medidas de riqueza. Por outro lado, na regressão com seleção de dados livres, apesar de não ter apresentado uma contribuição maior que o índice de equilíbrio por Simpson, a medida de Riqueza por Batty *et al.* (2004) teve influência significativa na

média. O fato desses índices que utilizam unidades no seu cálculo apresentarem bons resultados estatísticos com o deslocamento a pé, apenas o agrupamento por segmentos mostrou que, nessa escala, as quantidades e riqueza de usos parecem mais importantes para o deslocamento a pé do que o porte deles em área.

A influência dos usos variou conforme o agrupamento de dados, assim como nos valores dos modelos de centralidade. Em se tratando de agrupamentos em grandes escalas, as vias mais integradas apresentaram maior influência no deslocamento a pé. Nota-se que, apesar dos valores calculados pelo MCA terem resultados positivos, as centralidades calculadas pela Sintaxe Espacial utilizando a representação axial tiveram melhor capacidade preditiva. Por isso, infere-se que tenha se aproximado melhor com a lógica de deslocamento a pé. Ainda, o processo de mineração de dados mostrou evidências estatísticas de que o uso das medidas da Sintaxe Espacial em diferentes raios não é significativo. Infere-se que essa semelhança entre as medidas em raios tenha relação com a dimensão da cidade do estudo empírico e, que essa relação talvez não seja a mesma em configurações urbanas maiores. Essa equivalência também pode ser observada nas diferentes variáveis dos usos não residenciais calculada por área e por unidades. A utilização desses índices em unidades ao invés de área construída pode ser uma estratégia para pesquisas em contextos nos quais esse tipo de informação nem sempre está disponível de forma sistematizada nos órgãos públicos. No geral, o desempenho positivo das variáveis evidencia o poder de atração de combinação de usos do solo para as viagens a pé.

Os resultados estatísticos, de um modo geral, apontaram para a relevância de algumas variáveis: nos agrupamentos por segmentos, destacaram o uso do solo institucional, o valor de riqueza e de equilíbrio por unidades. Nos demais agrupamentos, a relevância estatística indicou a medida do modelo de centralidade por integração calculado por vias axiais e passos, bem como os valores que mensuram o equilíbrio do uso do solo.

Considerando as áreas residenciais como parte da rotina diária da população e origem da maioria dos deslocamentos cotidianos, indagou-se a falta de correlação estatística dessas áreas com os caminhos percorridos a pé. Embora o uso residencial não ter tido boa correlação com a variável dependente, as áreas residenciais constituem a maior parte da área urbana e não significa que não participem da lógica de deslocamento de uma cidade. Os segmentos mais carregados de viagens a pé não obtiveram correspondência total com as áreas com maior quantidade de atrativos e menos ainda com as áreas residenciais. No entanto, foram relacionados com as vias mais integradas entre essas duas áreas. Dessa forma, pode-se observar que o movimento de viagens a pé aconteceu nas vias cuja configuração foi capaz de concentrar o fluxo de pessoas (maior valor de integração) entre áreas com maior concentração de residências e áreas com maior concentração de atrativos (maior valor de riqueza e equilíbrio do uso do solo).

Ainda sobre a capacidade de certos usos atraírem movimento de pessoas, na Figura 4, foram sobrepostos os segmentos mais carregados, as vias mais integradas e a quantidade de estabelecimentos institucionais (apontada nas análises estatísticas como a categoria de uso do solo mais correlacionada com a variável dependente).

Foi possível observar que os segmentos mais carregados de viagens a pé, geralmente coincidiram com vias axiais mais integradas e, por vezes, foram relacionados com a proximidade e a quantidade de estabelecimentos institucionais (Figura 5).

As considerações sobre o comércio de varejo abordadas na revisão de literatura apontaram o fluxo de pessoas como variável relevante para a bom desempenho de atividades comerciais (Figura 6).

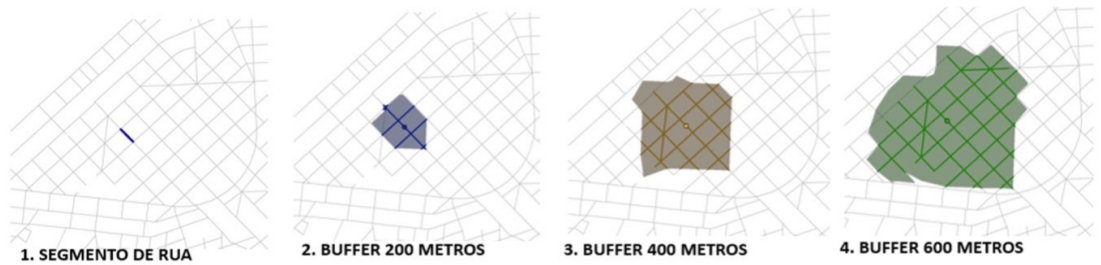


Figura 4 - Unidades espaciais de análise.

Fonte: Elaborada pelo autor

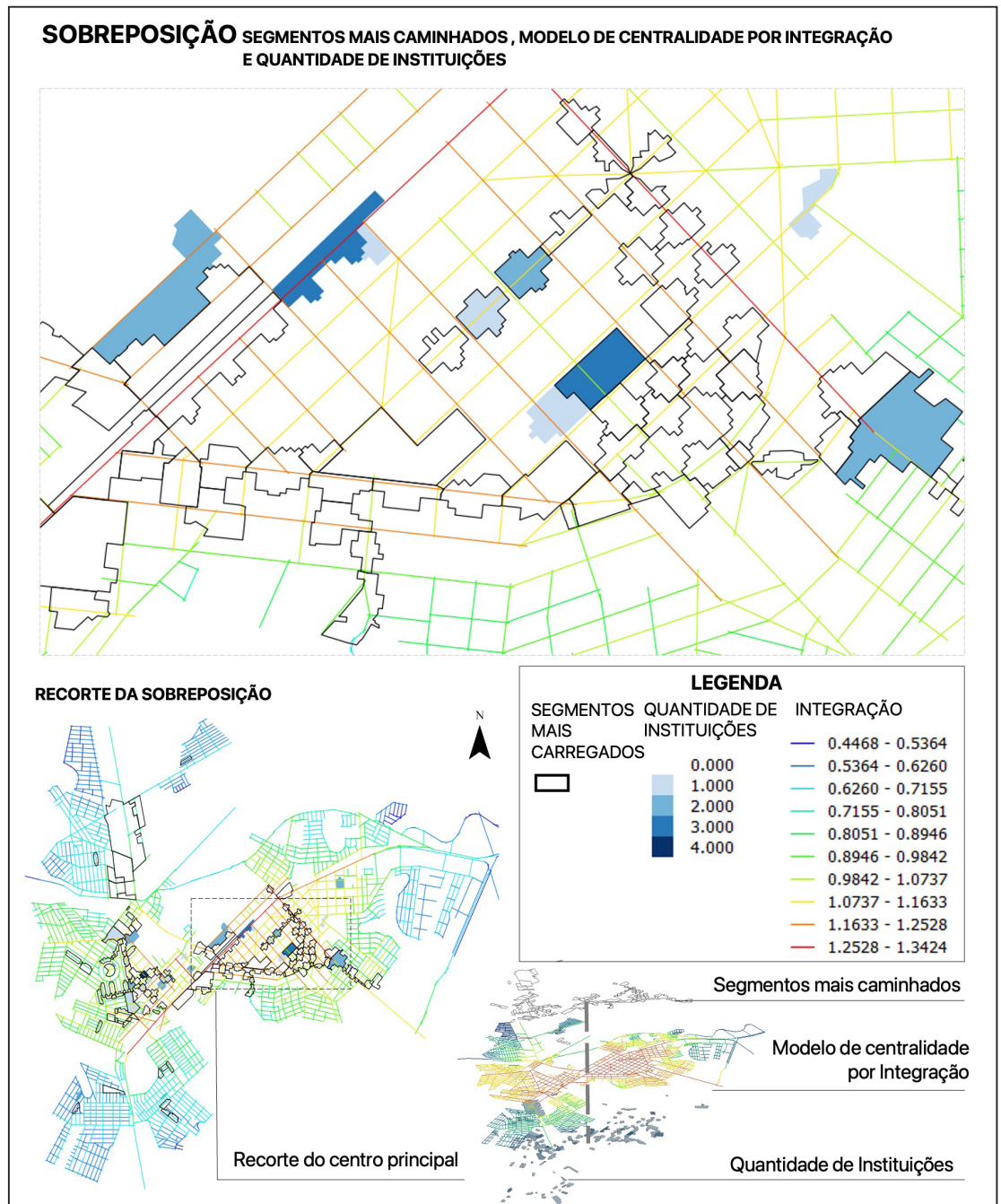


Figura 5 - Sobreposição entre segmentos mais caminhados, modelo de centralidade por Integração e Quantidade de Instituições.

Fonte: Elaborada pelo autor.

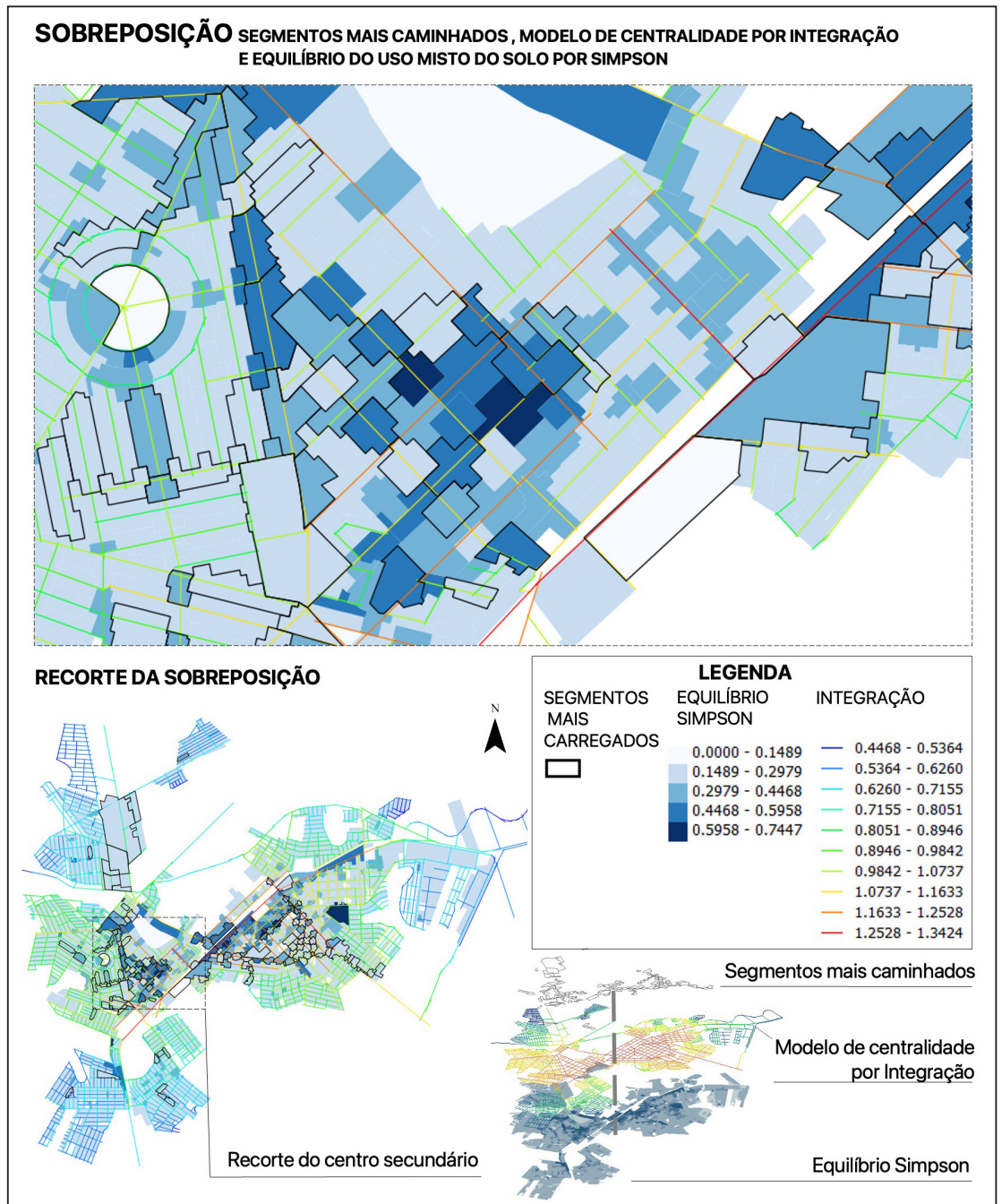


Figura 6 – Sobreposição entre segmentos mais caminhados, modelo de centralidade por integração e equilíbrio do uso misto do solo por Simpson.

Fonte: Autor.

Em termos de implicações para políticas públicas, os resultados da pesquisa reforçam a importância de projetar ambientes urbanos que favoreçam o uso misto do solo, promovendo uma maior proximidade de serviços e equipamentos públicos. A criação de áreas de uso misto, com a integração de diferentes funções urbanas, pode contribuir significativamente para aumentar os deslocamentos a pé, especialmente em áreas residenciais de maior densidade. A centralidade também deve ser considerada no planejamento urbano, pois sua capacidade de conectar diferentes áreas de uma cidade facilita o deslocamento pedestre, o que pode ser particularmente importante em cidades médias e pequenas brasileiras.

Considerações Finais

Os resultados da pesquisa apontaram para o poder de atração de usos do solo combinados para as viagens a pé. Essas áreas não residenciais, por sua vez, tendem a estar localizadas em áreas com determinadas características espaciais que podem ser previstas em abordagens configuracionais. O estudo dessas relações pode prever, portanto, áreas mais caminháveis nas cidades. Os resultados sugerem que tanto a configuração espacial quanto a diversidade do uso do solo, especialmente em escalas mais amplas, desempenham papéis cruciais no comportamento de caminhada, e destacam a necessidade de estratégias de planejamento urbano que integrem essas variáveis para promover cidades mais caminháveis e sustentáveis.

Ainda nesse sentido, a medida de equilíbrio de usos do solo por Shannon calculada utilizando unidades (e não área, como é tradicionalmente utilizada) e a medida de centralidade calculada pela Sintaxe Espacial utilizando vias axiais se mostraram boas em prever o movimento de pedestres. Combinadas, essas medidas foram capazes de prever 30% deste movimento. O restante, infere-se que esteja atribuído à demais fatores sociais e culturais inerentes às variáveis consideradas na pesquisa.

O estudo empírico foi conduzido em uma cidade em expansão, cujas características ainda podem não estar completamente consolidadas, o que pode influenciar os resultados, configurando uma limitação da pesquisa. Futuras pesquisas poderiam expandir as análises relacionadas às classificações de uso do solo. Embora esta pesquisa tenha adotado a divisão em cinco categorias, conforme proposto por Frank *et al.* (2010), outras classificações, como o uso industrial, ou diferentes arranjos de uso, poderiam permitir uma compreensão mais detalhada das especificidades dessas relações. No caso do uso misto, uma questão a ser investigada seria se certas combinações entre categorias de uso do solo apresentam maior correlação com o deslocamento a pé do que outras. Além disso, considerando as variáveis relevantes nesta pesquisa, como o modelo de centralidade por Integração, a importância das unidades e a influência do uso institucional, novas investigações poderiam incorporá-las no desenvolvimento de novos índices de caminhabilidade. Tais índices poderiam ser baseados nas propostas de Frank *et al.* (2010) e Koohsari *et al.* (2016), mas com adaptações mais apropriadas ao contexto nacional.

Referências

- Batty, M. *et al.* Representing multifunctional cities: density and diversity in space and time. *Built Environment*, v. 30, n. 4, p. 324-337, 2004.
- Bhat, C.; Gossen, R. A mixed multinomial logit model analysis of weekend recreational episode type choice. *Transportation Research Part B*, n. 38, p. 767-787, 2004.
- Bordoloi, R. *et al.* Quantification of land use diversity in the context of mixed land use. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, n. 104, p. 563-572, 2013.
- Brown, B.B. *et al.* Mixed land use and walkability: variations in land use measures and relationships with BMI, overweight, and obesity. *Health and Place*, n. 15, p. 1130-1141, 2009.
- Campoli, J. *Made for walking: density and neighborhood form*. Massachusetts: Lincoln Institute of Land Policy, 2012.
- Cervero, R.; Duncan, M. Walking, bicycling, and urban landscapes: evidence from the San Francisco Bay Area. *American Journal of Public Health*, n. 93, p. 1478-1483, 2003.
- 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.

- Christian, H. E. et al. How important is the land use mix measure in understanding walking behavior? Results from the RESIDE study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, v. 8, n. 55, p. 1-12, 2011.
- Duncan, M. J. et al. Relationships of land use mix with walking for transport: do land uses and geographical scale matter? *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*, v. 87, n. 5, p. 782-795, 2010.
- Ewing, R.; Cervero, R. Travel and the built environment: a meta-analysis. *Journal of the American Planning Association*, v. 76, n. 3, p. 265-294, 2010.
- Frank, L. 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.
- Frank, L. D; Pivo, G. Impacts of mixed use and density utilization on three modes of travel: single-occupant vehicle, transit, and walking. *Transportation Research Record* v.1466, p.44-52, 1994.
- Gehrke, S.R. Clifton, K.J. Operationalizing land use diversity at varying geographic scales and its connection to mode choice. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 2453, p. 128-136, 2014.
- Groat, L.; Wang, D. *Architectural research methods*. London: John Wiley & Sons, 2002.
- Hillier, B. et al. Natural movement or configuration and attraction in urban pedestrian movement. *Environment & Planning B*, v. 20, n. 1, p. 29-66, 1993.
- Hillier, B.; Hansen, J. *The social logic of space*. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- Hillier, B. *Space is the machine*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estatísticas por cidade e estado*. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/rolandia.html>. Acesso em: 13 dez. 2018.
- Kockelman, K. Travel Behavior is a function of Accessibility, Land use Mixing and Land use balance: Evidence from the San Francisco Bay Area. *Transportation Research Record*, n. 1607, p. 116-125, 1997.
- Koohsari, M. J. et al. Street network measures and adults' walking for transport: application of space syntax. *Health and Place*, n. 38, p. 89-95, 2016.
- Krafta, R. *Notas de aula de morfologia urbana*. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2014.
- Leslie, E.; Butterworth, I.; Edwards, M. Measuring the walkability of local communities using geographic information systems data. In: *Walk21-VII: the next steps, the 7th international conference on walking and liveable communities*. Melbourne, 2006. Disponível em: <http://www.walk21.com/papers/m>. Acesso em: 18 fev. 2018.
- Li, X. et al. Investigating the association between streetscapes and human walking activities using Google Street View and human trajectory data. *Transactions in GIS*, p. 1-16, 2018.
- Lima, L. S. *Centralidades em redes espaciais urbanas e localização de atividades econômicas*. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- Lu, Y.; Xiao, Y.; Ye, Y. Urban density, diversity and design: is more always better for waking? A study from Hong Kong. *Preventive Medicine*, n. 103, p. 599-5103, 2016.
- Martin, L.; March, L. *Urban space and structure*. Cambridge: Cambridge University Press, 1972.
- Motomura, M. C. *Walkable spaces: correlation between built environment, social capital and self-rated health in Cambé - Paraná - Brazil*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.
- Netto, V. et al. Cidade e organização social: o papel do espaço. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 10, n. 2, p. 249-267, 2017.
- Netto, V. M.; Vargas, J. C.; Saboya, R. T. Buscando os efeitos sociais da morfologia arquitetônica. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 4, n. 2, p. 261-282, 2012.
- Normando, M. *Escalas da diversidade intraurbana*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2006.
- Porta, S. et al. Street centrality and densities of retail and services in Bologna, Itália. *Sage Journals*, v. 36, n. 3, 2008.
- Porta, S. et al. Street centrality and land use intensity in Baton Rouge, Louisiana. *Journal of Transport Geography*, v. 19, 2010.

- Porta, S. et al. Street centrality and location of economic activities in Barcelona. *Urban Studies*, v. 36, n. 3, 2011.
- R Core Team. *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2018. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 18 fev. 2018.
- Rodriguez, D.; Joo, J. The relationship between non-motorized mode choice and the local physical environment. *Transportation Research Part D*, v. 9, p. 151-173, 2004.
- Sallis, J. et al. Neighborhood built environment and income: examining multiple health outcomes. *Social Science and Medicine*, v. 68, n. 7, p. 1285-1293, 2009.
- Sevtsuk, A. *Path and place: a study of urban geometry and retail activity in Cambridge and Somerville, MA*. Tese (PhD em Urban Studies and Planning) – Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, 2010.
- Sevtsuk, A.; Kalvo, R. Patronage of urban commercial clusters: a network-based extension of the Huff model for balancing location and size. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, v. 45, n. 3, 2017.
- Sevtsuk, A.; Mekonnen, M. Urban network analysis toolbox. *International Journal of Geomatics and Spatial Analysis*, v. 22, n. 2, p. 287-305, 2012.
- Shannon, C.E. A Mathematical Theory of Communication Shannon. *Bell Telephone System Technical Publications*, 1949. Disponível em <http://cm.belllabs.com/cm/ms/what/shannday/paper.html>. Acesso em: 15 jul. 2018.
- Stasinopoulos, D. M.; Rigby, R. A. Generalized additive models for location scale and shape (GAMLSS) in R. *Journal of Statistical Software*, v. 23, n. 7, p. 1-46, 2007.

Agradecimentos

À Capes pela bolsa de mestrado que permitiu o desenvolvimento da pesquisa.

Colaboradores

A.S. Olak: autor da dissertação a qual deu origem ao artigo e redator principal do texto; M. Kanashiro: orientadora da dissertação, redatora e revisora do texto; E. R. Rodrigues: coorientadora da dissertação; redatora e revisora do texto.