

ACESSIBILIDADE URBANA POR CAMINHADA DA PESSOA IDOSA AOS PONTOS DE EMBARQUE DO TRANSPORTE PÚBLICO COLETIVO POR ÔNIBUS EM BELO HORIZONTE/MINAS GERAIS/BRASIL

Giovanni Candido Miranda

Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil¹

gtrmiranda@gmail.com

Antonio Henrique Noronha Ribeiro

Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil²

antoniojohnr@gmail.com

Carlos Lobo

Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais e Pós-Doutor em Demografia pelo NEPO/UNICAMP. Professor Associado do Departamento de Geografia do IGC/UFMG²

carloslobo@ufmg.br

RESUMO: O presente estudo investiga a acessibilidade urbana por caminhada da população idosa aos pontos de embarque do transporte público coletivo por ônibus no município de Belo Horizonte/MG. A pesquisa se insere no contexto de envelhecimento populacional acelerado e urbanização marcada por desigualdades socioespaciais, que impõem desafios significativos à mobilidade urbana equitativa. O objetivo central foi desenvolver um indicador sintético — o Índice de Acessibilidade dos Idosos aos Pontos de Embarque (IA_{pe}) — capaz de mensurar a acessibilidade pedonal da população com 60 anos ou mais, considerando variáveis como tempo de deslocamento a pé, declividade do terreno e distribuição demográfica dos idosos. A metodologia baseou-se na utilização de dados do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (CNEFE/IBGE), da base de pontos de embarque do transporte coletivo (GTFS) e da malha viária do *Open Street Map*. A modelagem foi realizada por meio do pacote computacional R5R, que permitiu estimar os tempos de caminhada ajustados à declividade, assumindo uma velocidade média de 2,7 km/h para a população idosa. As análises foram espacializadas em hexágonos H3, com área de 0,11 km², e integraram técnicas de regressão, interpolação e normalização estatística. Os resultados apontam que, embora a maior parte do município apresente níveis satisfatórios de acessibilidade, persistem áreas periféricas e de alta declividade com baixos níveis de acesso, especialmente em territórios de menor renda. Conclui-se que o IA_{pe} é uma ferramenta relevante para subsidiar políticas públicas voltadas à mobilidade urbana inclusiva, contribuindo para cidades mais justas e preparadas para o envelhecimento populacional.

Palavras-chave: Acessibilidade urbana; Transporte público; Envelhecimento populacional; Desigualdade espacial; Mobilidade pedonal.

PEDESTRIAN URBAN ACCESSIBILITY FOR THE ELDERLY TO BUS PUBLIC TRANSPORT BOARDING POINTS IN BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS, BRAZIL

ABSTRACT: This study investigates pedestrian urban accessibility for the elderly population to bus public transport boarding points in the municipality of Belo Horizonte, Brazil. The research is framed within the context of accelerated population aging and urban development marked by socio-spatial inequalities, which present significant challenges to equitable urban mobility. The main objective was to develop a synthetic indicator — the Elderly Accessibility Index to Boarding Points (IA_{pe}) — capable of measuring pedestrian accessibility for individuals aged 60 and over, considering variables such as walking time, terrain slope, and the spatial distribution of the elderly population. The methodology employed data from the National Register of Addresses for Statistical Purposes (CNEFE/IBGE), static

¹ Endereço para correspondência: Av. 85, 971, Setor Sul, CEP: 74080-010, Goiânia, Goiás, Brasil.

² Endereço para correspondência: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Pampulha, CEP: 31270-901, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

GTFS data on public transport boarding points, and the road network from Open Street Map. Travel time estimation was performed using the R5R computational package, which simulates walking speeds adjusted for slope, assuming an average speed of 2.7 km/h for elderly individuals. Spatial analyses were conducted using H3 hexagons (0.11 km^2) and integrated techniques of regression, interpolation, and statistical normalization. The results indicate that, although most areas in the municipality present satisfactory levels of accessibility, low accessibility levels persist in peripheral regions and high-slope areas, particularly those with lower income. It is concluded that the IA_{pe} is a robust and innovative tool for informing public policies aimed at inclusive urban mobility, contributing to the development of just cities capable of accommodating the demands of an aging population.

Keywords: Urban accessibility; Public transport; Population aging; Spatial inequality; Pedestrian mobility.

ACCESIBILIDAD URBANA PEATONAL DE LAS PERSONAS MAYORES A LOS PUNTOS DE EMBARQUE DEL TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO POR AUTOBÚS EN BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS, BRASIL

RESUMEN: Este estudio investiga la accesibilidad urbana peatonal de la población adulta mayor a los puntos de embarque del transporte público colectivo por autobús en el municipio de Belo Horizonte, Brasil. La investigación se enmarca en el contexto del envejecimiento poblacional acelerado y de un desarrollo urbano caracterizado por desigualdades socioespaciales, fenómenos que plantean desafíos significativos para una movilidad urbana equitativa. El objetivo principal fue desarrollar un indicador sintético —el Índice de Accesibilidad de las Personas Mayores a los Puntos de Embarque (IA_{pe})— capaz de medir la accesibilidad peatonal de personas de 60 años o más. Son consideradas variables como el tiempo de desplazamiento a pie, la pendiente del terreno y la distribución espacial de la población mayor. La metodología se basó en datos del Registro Nacional de Direcciones para Fines Estadísticos (CNEFE/IBGE), del sistema GTFS de puntos de embarque del transporte público, y de la red vial de Open Street Map. El cálculo del tiempo de caminata se realizó mediante el paquete computacional R5R, que permite simular la velocidad de desplazamiento ajustada a la pendiente y a la velocidad promedio de 2,7 km/h para personas mayores. Los análisis espaciales se llevaron a cabo utilizando hexágonos H3 ($0,11 \text{ km}^2$) e se integraron técnicas de regresión, interpolación y normalización estadística. Los resultados indican que, aunque la mayoría del municipio presenta niveles satisfactorios de accesibilidad, persisten áreas periféricas y de alta pendiente con bajos niveles de acceso, especialmente en territorios de menores ingresos. Se concluye que el IA_{pe} es una herramienta sólida e innovadora para apoyar políticas públicas orientadas a una movilidad urbana inclusiva, contribuyendo al desarrollo de ciudades más justas y adaptadas al envejecimiento poblacional.

Palabras clave: Accesibilidad urbana; Transporte público; Envejecimiento poblacional; Desigualdad espacial; Movilidad peatonal.

Introdução

A acessibilidade é um conceito polissêmico que vem ganhando relevância crescente na atualidade, especialmente por sua relação intrínseca com a justiça social e com a redução das desigualdades. A capacidade dos indivíduos de acessar oportunidades, sejam elas de trabalho, saúde, lazer ou consumo, por exemplo, são uma das dimensões chaves para o bem-estar coletivo e a participação equitativa na dinâmica das cidades. No entanto, o crescimento urbano acelerado e desigual, sobretudo como observado nos países da periferia capitalista, tem sido acompanhado por expressivas disparidades socioespaciais, concentrando a pobreza em áreas periféricas onde a infraestrutura e os serviços públicos são precários. Esse processo, marcado pela segregação territorial e pela exclusão, reforça ciclos de marginalização e limita a experiência urbana em amplos segmentos da população.

A acessibilidade, aqui compreendida como uma medida cumulativa da fricção-fluidez encontrada ao acessar determinados pontos de interesse a partir de uma localidade, é afetada por processos multifatoriais. Nesse contexto, o transporte público por ônibus emerge como um elemento central na avaliação da acessibilidade urbana. A qualidade do serviço, a distribuição espacial das linhas e a proximidade dos pontos de embarque e desembarque (PEDs) são variáveis críticas que influenciam diretamente a acessibilidade ao sistema de transporte e,

portanto, a inclusão ou a exclusão socioespacial. Em municípios como Belo Horizonte-MG, a qual o sistema de ônibus é a espinha dorsal da mobilidade, entender como esses fatores se articulam é essencial para políticas públicas que visem à equidade.

Além das dinâmicas urbanas e de transporte, se faz necessário considerar as dinâmicas demográficas específicas, em especial em relação ao processo de envelhecimento populacional. Dado o processo de transição demográfica, caracterizado pela queda nas taxas de natalidade e pelo aumento da expectativa de vida, reconfiguram-se as demandas urbanas. O caso brasileiro, assim como de boa parte dos países ditos periféricos, cuja transição ocorreu de modo bastante acelerada, as demandas em relação a população idosa se apresentam de modo mais urgente. Uma dessas demandas refere-se à mobilidade urbana, que cada vez mais precisa ser repensada para atender a um grupo populacional que frequentemente enfrenta limitações físicas e socioeconômicas. Caminhar até um ponto de embarque, por exemplo, pode ser um desafio para pessoas idosas, que pode ser acentuado para aqueles que residem em áreas com infraestrutura inadequada ou topografia acidentada.

É nesse cenário multidimensional que este estudo se insere, propondo parâmetros para avaliar a acessibilidade pedonal aos pontos de embarque do transporte coletivo em Belo Horizonte. Para além da distância máxima a ser percorrida, o trabalho analisa o tempo de caminhada, ajustado pela declividade do sistema viário, a fim de captar os reais obstáculos enfrentados pelos pedestres, em especial os idosos. A partir dessa abordagem, desenvolveu-se o Índice de Acessibilidade dos Idosos aos Pontos de Embarque (IA_{pe}). Trata-se de um indicador agregado que busca quantificar determinadas fricções enfrentadas na acessibilidade dos idosos ao sistema de transporte público, permitindo subsidiar políticas de mobilidade urbana mais inclusivas.

Os indicadores apresentados, ainda que não encerrem todas as dimensões de acessibilidade ao sistema de transporte por ônibus, agregam parâmetros mais objetivos ao debate sobre a acessibilidade inclusiva ao planejamento urbano, oferecendo insumos tácitos para a elaboração de planos de mobilidade que priorizem uma cidade equânime. Em um contexto de envelhecimento populacional acelerado e urbanização desigual, garantir que as oportunidades de acesso sejam ofertadas a todos é um imperativo ético e um passo decisivo rumo a cidades mais democráticas e justas.

Acessibilidade urbana, transporte público e envelhecimento populacional

O estudo da acessibilidade tem origem nos trabalhos de Hansen (1959), que a definiu como o potencial de interação entre origens e destinos, mediado pela infraestrutura de transporte e pela distribuição espacial de oportunidades. Para Hansen (1959), a acessibilidade era uma medida da conectividade espacial, calculada a partir da proximidade entre zonas urbanas e polos de emprego, serviços e equipamentos públicos. Essa abordagem, de cunho quantitativo, enfatizava a relação entre distância física e disponibilidade de atividades, tornando-se um pilar para modelos de planejamento urbano e regional.

Ben-Akiva e Lerman (1985) introduziram, em suas contribuições, modelos de escolha discreta para prever comportamentos de viagem, considerando preferências individuais e restrições estruturais. Seus trabalhos demonstraram como a acessibilidade pode ser moldada não apenas por infraestruturas, mas também por percepções subjetivas, como segurança e conforto, por exemplo; bem como por barreiras invisíveis tais como a discriminação socioespacial.

Por sua vez, Geurs e van Wee (2004) ampliaram a noção de acessibilidade ao integrar quatro dimensões inter-relacionadas, a saber: (a) transporte: eficiência dos modos de deslocamento, compreendendo tempo, custo e confiabilidade; (b) uso do solo: distribuição espacial de oportunidades de trabalho, saúde e lazer, por exemplo; (c) temporal: variações na disponibilidade de serviços ao longo do tempo; e (d) individual: características socioeconômicas e capacidades dos usuários, tais como renda, idade e mobilidade reduzida.

Essa abordagem permitiu operacionalizar a acessibilidade como uma métrica que incorpora equidade e justiça espacial, temas já explorados em estudos anteriores, como os de Davidson (1995), que destaca o papel da acessibilidade na dinâmica das desigualdades urbanas, argumentando que a distribuição desigual de infraestrutura e serviços reforça padrões de exclusão socioespacial. Nessa mesma linha, Axhausen e Schönenfelder (2003) e Cardoso (2007) demonstraram como a precariedade dos sistemas de transporte, especialmente em contextos periféricos, aprofunda a exclusão social. Seus trabalhos reforçam que políticas de planejamento de mobilidade não são neutras: elas podem reproduzir ou minimizar disparidades, dependendo de seu desenho e implementação.

A relação entre acessibilidade e mobilidade tem sido amplamente debatida na literatura. Levine *et al.* (2012) argumentam que a primeira é um fim, através do acesso a oportunidades, enquanto a segunda é um meio, e diz respeito à capacidade de deslocamento. Nesse sentido, o transporte público, especialmente o sistema de ônibus, desempenha um papel crítico na mediação dessa relação, conforme destacam Cervero (1998) e Currie (2010).

Cervero (1998) enfatiza que a eficiência do transporte coletivo depende não apenas da cobertura geográfica, mas também da integração modal e da frequência de serviço. Seus estudos mostraram que cidades com redes de ônibus bem planejadas (ex.: corredores exclusivos, tarifas acessíveis) tendem a reduzir as desigualdades de acessibilidade, especialmente para populações de baixa renda. Já Currie (2010) introduziu o conceito de transporte social, defendendo que políticas de mobilidade devem priorizar grupos vulneráveis, tais como pessoas idosas, com deficiência, e populações periféricas. Seus trabalhos evidenciaram que a caminhabilidade até pontos de ônibus, influenciada por fatores como calçadas, iluminação e topografia, é tão crucial quanto a qualidade do serviço em si. Dessa forma, é pertinente aprofundar os estudos sobre as relações entre acessibilidade e pessoas idosas, uma vez que o processo de transição demográfica, que é marcado pela queda na fecundidade e pelo aumento da expectativa de vida, deve redefinir as demandas por acessibilidade urbana.

No Brasil, o envelhecimento populacional avança em ritmo acelerado: entre 2000 e 2023, a proporção de idosos (60 anos ou mais) passou de 8,7% para 15,6% da população total, quase duplicando sua representação demográfica (IBGE, 2022). Esse cenário demanda adequações nas políticas urbanas uma vez que, conforme argumenta Glaeser (2011), cidades que negligenciam o planejamento para o envelhecimento tendem a aprofundar desigualdades, dado que os idosos enfrentam barreiras multifacetadas. Dentre elas, destacam-se: (a) mobilidade reduzida, devido às limitações físicas e doenças crônicas; (b) dependência do transporte público, já que o acesso a veículos próprios é mais restrito; e (c) riscos ambientais, como calçadas irregulares e ausência de bancos de descanso em espaços públicos. Diante desses desafios, Torku *et al.* (2009) desenvolveram o conceito de ambientes amigáveis ao idoso, sublinhando a necessidade de três princípios fundamentais: (1) design universal, com infraestruturas acessíveis a todas as idades e capacidades; (2) proximidade de serviços, reduzindo distâncias para atividades cotidianas; e (3) segurança viária, com sinalização adequada e tempo suficiente para travessias.

Dessa forma, fez-se aqui a opção de se utilizar o conceito de acessibilidade como uma medida cumulativa da fricção-fluidez encontrada ao acessar determinados pontos de interesse a partir de uma localidade. Como em Belo Horizonte o sistema de transporte público/coletivo se concentra quase exclusivamente no modo ônibus e o acesso é dado especialmente pelos denominados pontos de embarque e desembarque (PEDs), entende-se como de relevante importância a avaliação da acessibilidade ao sistema de transporte público por meio de estimativas quantitativas, aqui materializadas em um índice de acessibilidade urbana.

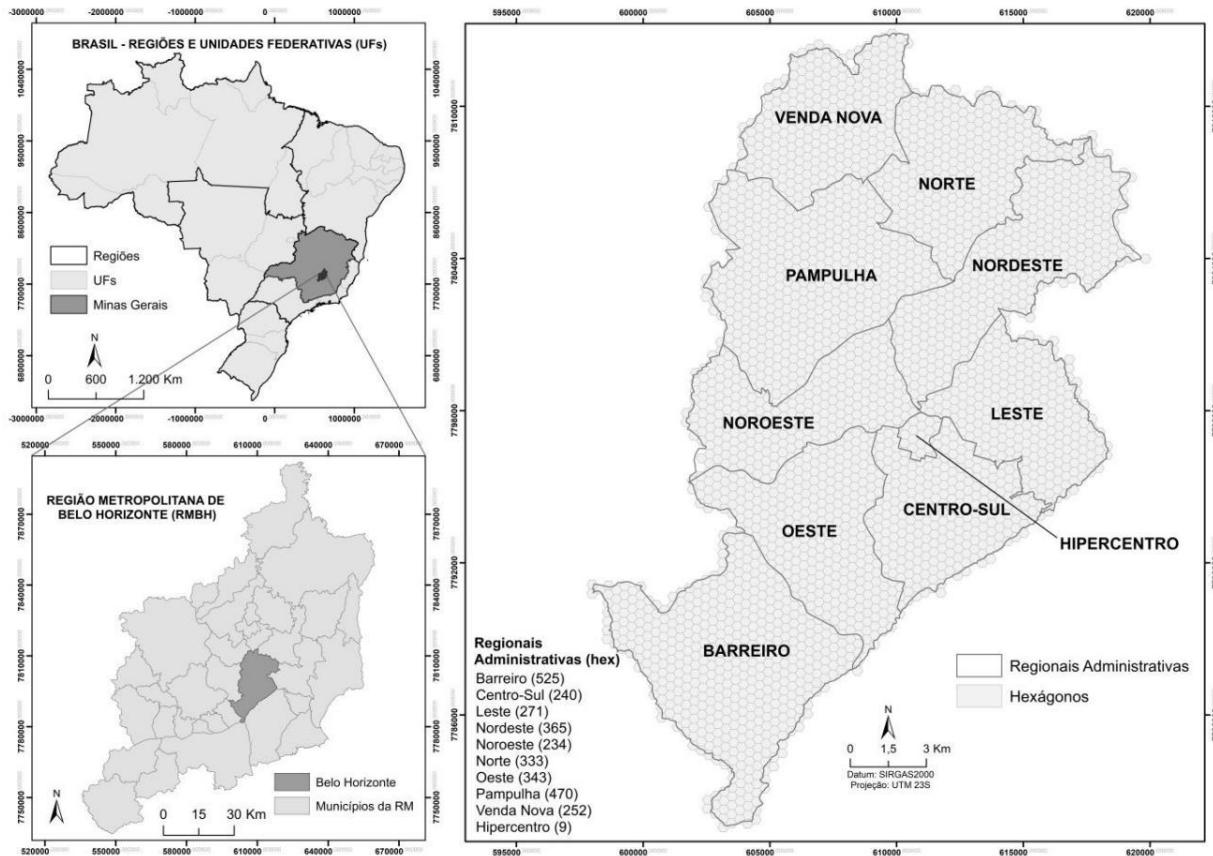
O Índice de Acessibilidade dos Idosos aos Pontos de Embarque (IA_{pe}), indicador síntese do trabalho, se utiliza das estimativas de tempo médio de caminhada dos idosos em cada domicílio aos PEDs, considerando a velocidade média para as pessoas nessa faixa etária sob influência da declividade das vias públicas utilizadas nos trajetos, ponderado pelo percentual da população com 60 anos ou mais. Sua elaboração conta com a utilização de dados públicos e

ferramentas computacionais *open-source*, o que permite plena replicabilidade para as demais grandes cidades brasileiras. Embora o IA_{pe} não inclua em sua elaboração outras variáveis importantes na análise da acessibilidade urbana, tais como aquelas referentes à qualidade e possibilidades de integração do sistema de transporte, além das condições de caminhabilidade (existência e qualidade da calçada, iluminação pública e segurança), entende-se que é uma importante ferramenta para a criação de espaços urbanos mais justos, inclusivos e acolhedores, fundamentais em uma realidade de envelhecimento populacional acelerada.

Base de dados, unidades espaciais e procedimentos metodológicos

A pesquisa se utilizou de diversas bases de dados para elaboração do IA_{pe}. Os 1.023.763 domicílios unifamiliares e plurifamiliares do município de Belo Horizonte foram obtidos no Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (CNEFE) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas - IBGE. Os pontos de embarque e desembarque do sistema de transporte público por ônibus (PEDs) foram originados do GTFS estático disponibilizado pelo Prefeitura Municipal de Belo Horizonte relativo ao ano de 2025. Por sua vez, os hexágonos H3 do município foram obtidos junto ao Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Unidade espacial de análise utilizada no trabalho, cada hexágono possui área de 0,11 km² (PEREIRA, 2022). Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais e núcleo da Região Metropolitana de Belo Horizonte (com 34 municípios metropolitanos) foi dividida em 3049 hexágonos H3. O município é organizado em nove regionais administrativas, sendo que, na Regional Centro-Sul, se localiza o Hipercentro, área caracterizada pela concentração de estabelecimentos de comércio e serviços.

Figura 1: Hexágonos do município de Belo Horizonte/Minas Gerais/Brasil



Fonte: IBGE (2025), Pereira (2022) e Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (2025).

A proposta metodológica parte da identificação do PED com menor tempo de caminhada a partir de cada um dos domicílios unifamiliares e plurifamiliares. O tempo de caminhada foi calculado por meio de um *script* que se utiliza do pacote computacional R5R (PEREIRA *et al.*, 2022) e da rede viária do município de Belo Horizonte disponibilizada pelo projeto *Open Street Map* (OSM). O pacote R5R permite simular os efeitos da declividade sobre a velocidade de caminhada do indivíduo, de maneira que, quanto maior o gradiente de declividade, menor a velocidade de caminhada. Para o trabalho, foi utilizado o método de Minetti (2002), incluído no R5R, e um *raster* de declividade de Belo Horizonte com resolução espacial de 30 metros, obtido junto ao projeto Topodata do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), gerado a partir dos dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

A literatura apresenta diversos valores para a velocidade de caminhada da pessoa idosa (BOHANNON, 1997; BOHANNON & ANDREWS, 2011; STUDENSKI, 2011; DUIM, LEBRÃO E ANTUNES, 2017). Com o objetivo de se utilizar uma velocidade de caminhada condizente com a realidade das grandes cidades brasileiras, adotou-se a velocidade de 2,7 km/h, observada por Duim, Lebrão e Antunes (2017) em estudos realizados com pessoas com idade média de 70 anos, na cidade de São Paulo, Brasil. O *script* desenvolvido permitiu identificar, para cada um dos 1.023.763 domicílios, o PED com menor tempo de caminhada e o tempo desse deslocamento em minutos. Para fins de teste da consistência do modelo, foi efetuada a comparação dos resultados obtidos pelo R5R com resultados gerados pela plataforma *Google Maps*. Para o teste, foi elaborado um *script* na linguagem de programação *Python* para obtenção de uma amostra estatística representativa do tempo de caminhada entre cada uma das 1.023.763 edificações e o PED mais próximo identificado na etapa anterior. Para definição do tamanho da amostra necessária para realização deste teste, foi usada a *Equação 1*:

$$n_0 \frac{Z^2 * p * (1-p)}{e^2} (1)$$

Em que:

n_0 = tamanho da amostra inicial;

Z = nível de confiança;

p = proporção estimada;

e = margem de erro.

E, posteriormente, foi feito o cálculo do tamanho ajustado da amostra (n), dado pela *Equação 2*:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0 - 1}{N}} (2)$$

Em que:

n_0 = tamanho da amostra inicial;

N = tamanho da população

Os valores dos parâmetros foram: N = 1.023.763; Z = 1,96; p = 0,5; margem de erro = 0,05. Como resultado, verificou-se a necessidade de 384 observações para realização do teste de consistência. Tais observações foram extraídas aleatoriamente dos trajetos de caminhada mais rápidos obtidos no passo anterior. Os tempos de deslocamento foram recalculados para os registros selecionados na amostra, desta vez utilizando o *Google Maps* por meio da *API Directions*, presente na *Google Cloud Platform*. A comparação entre os resultados obtidos por meio do R5R (Tempo R5R) e do Google Maps (Tempo Google) foi efetuada por meio de uma análise de regressão linear. O modelo se apresentou estatisticamente significativo ($F = 4,9902 \times 10^{-150}$) e com bom ajuste ($R^2 = 0,831$), demonstrando adequada consistência do modelo. Os resultados para o teste são apresentados pela *Tabela 1* e *Gráfico 1*.

Tabela 1 – Estatísticas do teste de regressão: Time R5R x Time Google

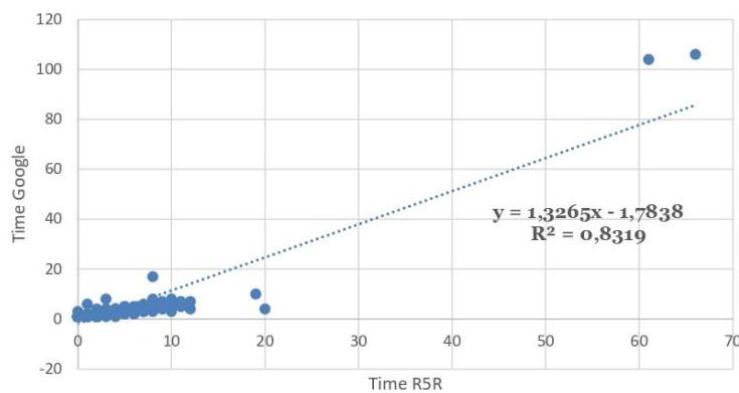
<i>Estatística de regressão</i>								
R múltiplo	0,912125129							
R-Quadrado	0,831972252							
R-quadrado ajustado	0,831532389							
Erro padrão	3,118118535							
Observações	384							

ANOVA								
	gl	SQ	MQ	F	F de significação			
Regressão	1	18389,77599	18389,77599	1891,434025	4,9902E-150			
Resíduo	382	3714,057343	9,7226632					
Total	383	22103,83333						

	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	-1,788902451	0,193778568	-9,231683718	1,86199E-18	-2,169908613	-1,407896289	-2,169908613	-1,407896289
1	1,326823665	0,030508272	43,49061997	4,9902E-150	1,266838498	1,386808831	1,266838498	1,386808831

Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 1: Time Google x Time R5R



Fonte: Elaborado pelos autores.

O IA_{pe} leva em conta, além do tempo de caminhada da pessoa idosa aos PEDs, o percentual da população com 60 anos ou mais em cada hexágono do município. Para identificação do percentual de idosos em cada hexágono, foi efetuada prévia compatibilização espacial entre os dados do Censo Demográfico 2022 (publicados por setores censitários) e os hexágonos H3. A compatibilização envolveu a atribuição da participação de cada domicílio no total de população e no total de idosos em cada setor censitário, obtida pela razão entre cada um desses totais e o número de domicílios no setor. Por meio da ferramenta *Spatial Join*, do SIG ArcGis 10.8, foi atribuído a cada edificação o código do hexágono, de maneira a permitir a agregação do total populacional, total de idosos e média de tempo de caminhada por hexágono.

O cálculo do IA_{pe} partiu da padronização da razão de idosos (dada pela divisão do total de idosos no hexágono pela população total no hexágono) pelo método *zscore*, conforme *Equação 3*:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (3)$$

Em que:

Z = razão de idosos padronizada pelo método *zscore*

X = razão de idosos observada

μ = média da razão de idosos

σ = desvio padrão da razão de idosos

Foi realizada a correção dos resultados da padronização pelo zscore, aliada à aplicação da técnica de transformação logarítmica, com o objetivo de se atenuar a influência da razão de idosos sobre o indicador (dada a variabilidade no município). Para se evitar valores iguais a zero como resultado, foi adicionado à equação o valor 0,00001. O produto do resultado dessa correção e do tempo médio de caminhada até o centro de saúde em cada hexágono gerou o Fator de Tempo (TF), conforme *Equação 4*:

$$TF = \log(z + Z_{min} + 1,00001) \quad (4)$$

Em que:

TF = Fator tempo

Z = razão de idosos padronizada pelo método zscore

Zmin = valor mínimo de Z

Com o objetivo de escalar os resultados em valores entre 0 e 1, foi aplicada a normalização do TF pelo método *Min-Max Scaller*. Para melhor entendimento do IA_{pe}, foi feita uma inversão da escala, por meio da operação 1 - TF normalizado, conforme *Equação 5*. Dessa forma, o valor 0 representa o menor nível de acessibilidade urbana e o valor 1 representa o maior nível de acessibilidade urbana.

$$IA_{pe} = 1 - \frac{(TF - TF_{min})}{(TF_{max} - TF_{min})} \quad (5)$$

Onde:

TF = Fator tempo observado

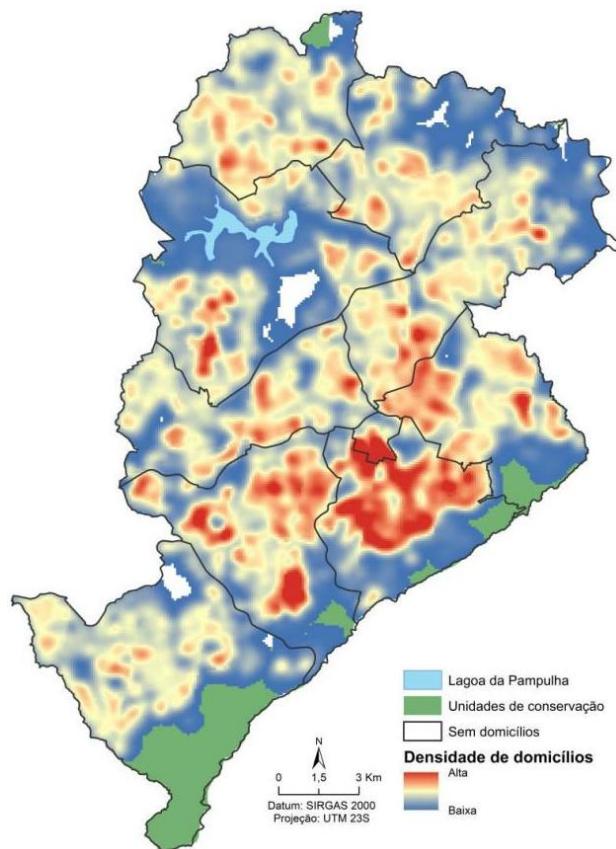
TF_{min} = valor mínimo observado do TF

TF_{max} = valor máximo observado do TF

Acessibilidade Urbana por Caminhada dos Idosos aos PEDs: as desigualdades espaciais em Belo Horizonte

A análise da concentração dos domicílios unifamiliares e plurifamiliares de Belo Horizonte, desenvolvida por meio de um mapa de densidade de *Kernel* (*Figura 2*), revela que as regionais centrais do município, principalmente Centro-Sul e Oeste, concentram maior densidade de domicílios. Tais pontos quentes incluem bairros com renda média elevada, como Lourdes, Anchieta, Sion e Santo Antônio (regional Centro-Sul) e Grajaú, Gutierrez e Buritis (regional Oeste). Nessas regionais, destacam-se ainda áreas de baixa renda com relevante densidade de domicílios, tais como o Aglomerado da Serra e Conjunto Santa Maria (Centro-Sul), Vila Ventosa, Vista Alegre, Cabana Pai Tomáz e Vila Madre Gertrudes (Oeste). Além disso, observa-se elevada concentração de domicílios nos bairros Sagrada Família, Horto, Vera Cruz e Taquaril (regional Leste), Cidade Nova e Jardim Vitória (Nordeste), Alípio de Melo e Castelo (Pampulha), Vila Apolônia e Vila São João Batista (Venda Nova), Vila Cemig e Vila Pinho (Barreiro) e Jardim Felicidade, Heliópolis e São Tomáz (Norte). Cabe destacar que, a exemplo de outras cidades brasileiras, há em Belo Horizonte um grande número de domicílios localizados em áreas de conservação ambiental, em especial no eixo sudeste-leste que se estende da regional Barreiro à regional Leste. A figura 2 apresenta a concentração de domicílios unifamiliares e plurifamiliares no município de Belo Horizonte.

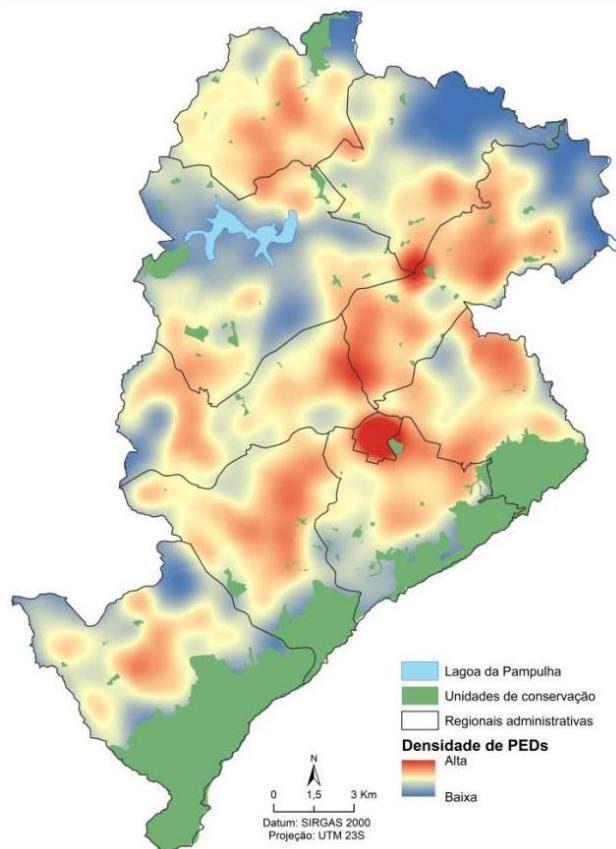
Figura 2: Mapa de densidade dos domicílios unifamiliares e plurifamiliares de Belo Horizonte / MG



Fonte: CNEFE/IBGE (2025). Elaborado pelos autores.

A análise da distribuição espacial dos 9.902 PEDs do município, identificados na base de dados GTFS estudada no trabalho, demonstra maior concentração no Hipercentro. Trata-se da principal centralidade e polo gerador de viagens do transporte público por ônibus na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Além do Hipercentro, observa-se ponto de grande concentração de PEDs no entorno da Estação São Gabriel, localizada no limite entre as regionais Nordeste, Norte e Pampulha. Essa estação de transporte público multimodal (metrô e ônibus) se localiza na confluência de grandes corredores viários da RMBH, como a Avenida Cristiano Machado, o Anel Rodoviário e a Via 240, recebendo relevante contingente de moradores dos municípios do vetor norte da RMBH e bairros das regionais Venda Nova, Norte, Nordeste e Pampulha. O entorno da avenida Presidente Antônio Carlos, entre os bairros Lagoinha e Cachoeirinha (limite entre as regionais Noroeste e Nordeste), também apresenta relevante densidade de PEDs no município. Baixa densidade de PEDs foram observados no entorno da Lagoa da Pampulha (regional Pampulha) e periferias das regionais Nordeste e Norte. Cabe destaque para o extremo norte da Regional Norte, onde se localizam as ocupações urbanas do Isidoro, caracterizadas pela precariedade de infraestrutura urbana e inexistência de linhas de transporte público regular, o que resulta em baixa acessibilidade urbana para a população, em especial, para os idosos. A figura 3 apresenta um mapa de densidade de Kernel dos PEDs do transporte público coletivo por ônibus em Belo Horizonte.

Figura 3: Densidade de PEDs do transporte público coletivo por ônibus em Belo Horizonte/MG



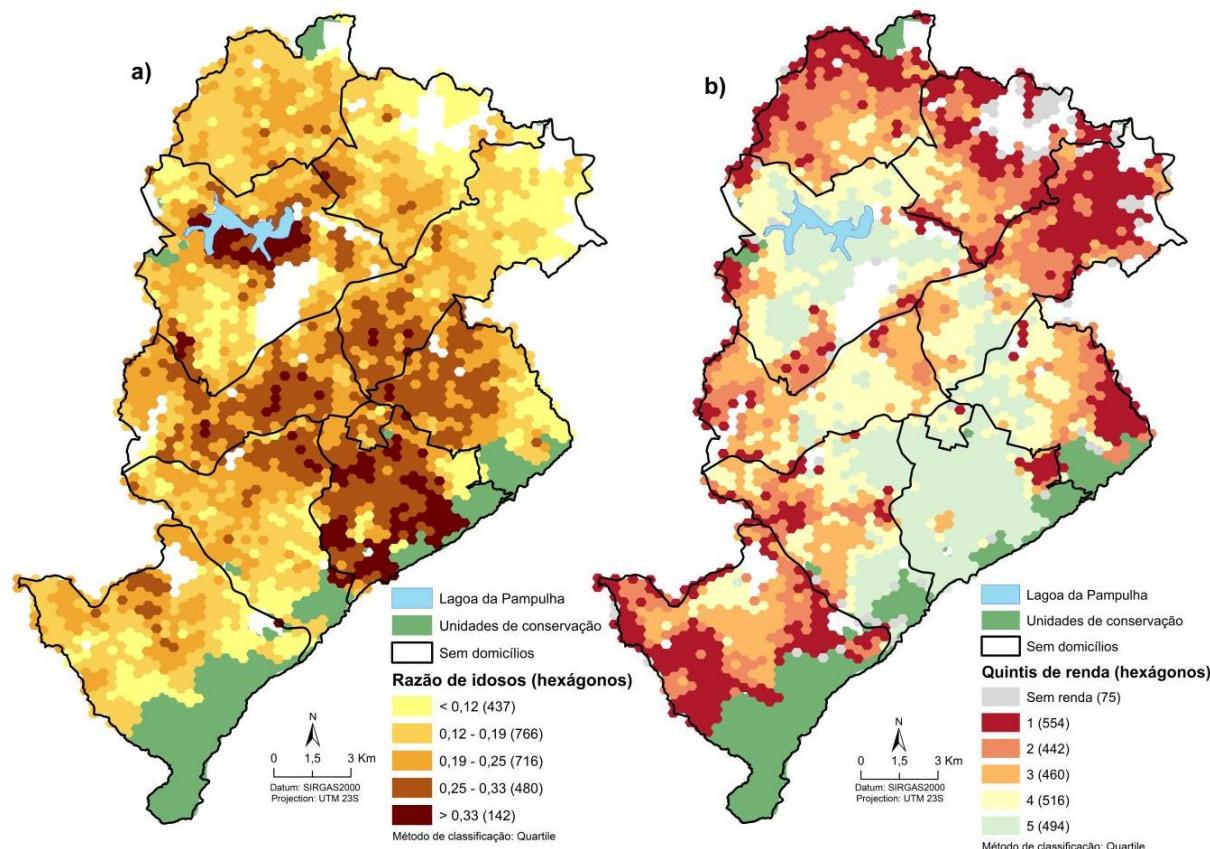
Fonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (2025). Elaborado pelos autores.

De acordo com os dados do Censo Demográfico 2022 do IBGE, Belo Horizonte possui 19,9% de sua população com 60 anos ou mais, distribuída de forma irregular no território municipal (*figura 4a*). Os maiores valores para a razão de idosos se concentram em hexágonos das regionais Centro-Sul (bairros Belvedere, Mangabeiras, São Bento e Serra) e Pampulha (entorno sul da Lagoa da Pampulha). Nesses hexágonos, inseridos também no quintil de renda média per capita mais elevada de acordo com dados do Censo Demográfico de 2010 compatibilizados por Pereira (2022)³ (*figura 4b*), observa-se mais de um terço da população com idade igual ou superior a 60 anos.

Os hexágonos localizados nas periferias das regionais Norte, Nordeste, Leste e Barreiro apresentaram os menores percentuais de idosos na população, com valores abaixo de 12%. Hexágonos inseridos nas regionais Centro-Sul (região do Aglomerado da Serra), Pampulha (bairro Castelo) e Oeste (bairro Buritis) também apresentaram baixa razão de idosos. Esses dois últimos são bairros inseridos no quintil de renda mais elevada e se caracterizam como áreas de ocupação recente em Belo Horizonte, se comparados aos demais bairros. Por sua vez, as áreas periféricas apresentam menor participação de pessoas com 60 anos ou mais no total populacional, de forma a sugerir relação com uma menor renda média per capita. As figuras 4a e 4b apresentam, respectivamente, a espacialização da razão de idosos e da renda média per capita no município de Belo Horizonte.

³ Os microdados do Censo Demográfico de 2022 relacionados à renda média per capita não foram publicados pelo IBGE até o momento de conclusão do trabalho, sendo os dados do Censo Demográfico de 2010 os mais recentes no nível de desagregação espacial utilizada.

Figura 4: a) Razão de idosos por hexágono de Belo Horizonte/MG. b) Quintis de renda média per capita por hexágonos de Belo Horizonte/MG



Fonte dos dados: IBGE (2022) e Pereira (2022). Elaborado pelos autores.

A análise dos dados do tempo de caminhada dos idosos de cada um dos domicílios unifamiliares e plurifamiliares até o PED com menor tempo de deslocamento levou em conta a velocidade média observada para essa parcela da população. A literatura indica como ideal uma distância de 400 metros de caminhada para o idoso até o PED mais próximo. Porém, há de se considerar que deslocamentos em terrenos de maior inclinação exigem maior esforço físico do indivíduo, provocando a redução da velocidade de caminhada e aumento de tempos de deslocamento. Sendo assim, se utilizou no *script* desenvolvido com o R5R a simulação dos efeitos da declividade sobre a velocidade média de 2,7 km/h com reduções baseadas em Minetti (2002), de forma a se aproximar da realidade da pessoa idosa. Adotou-se o tempo de 9 minutos de caminhada como parâmetro ideal, o que, em um terreno plano, resultaria em uma distância de 405 metros em uma velocidade de 2,7 km/h. Portanto, terrenos de maior declividade exigiriam caminhadas mais curtas da pessoa idosa até o PED.

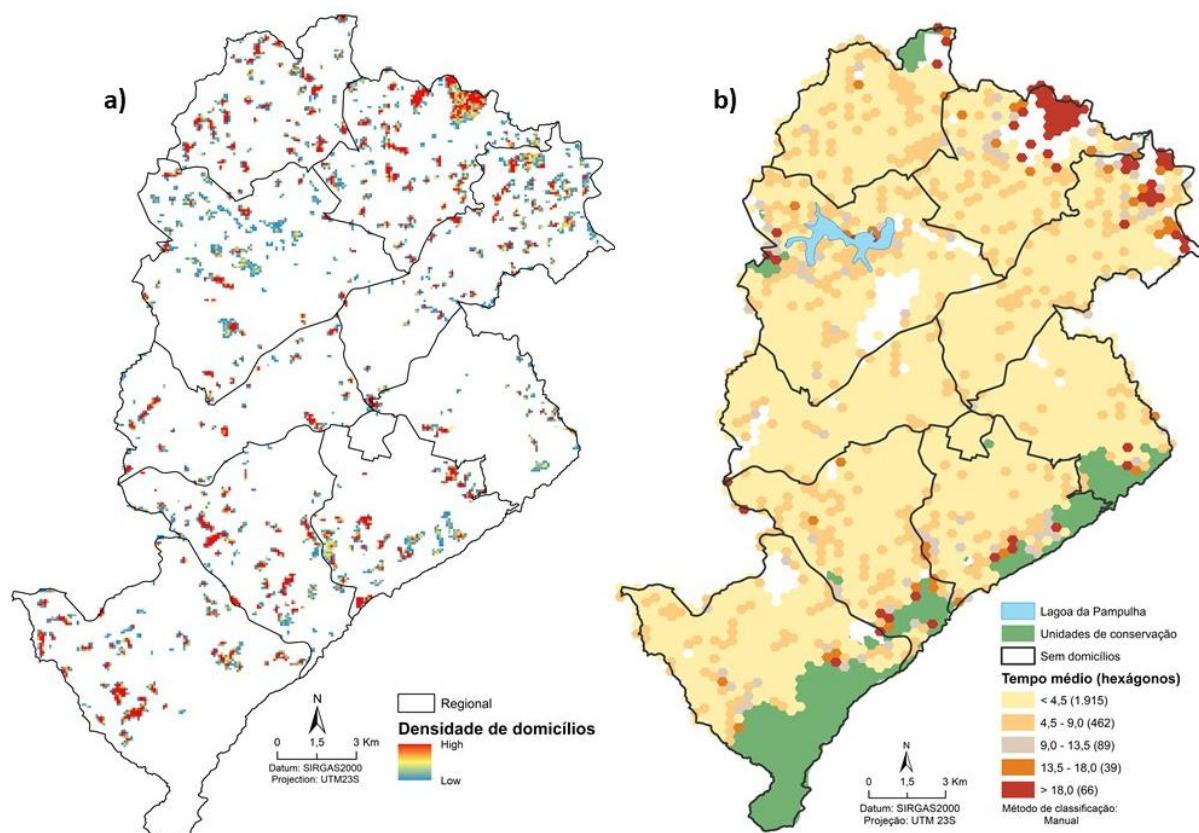
A análise da distribuição espacial dos domicílios cujo tempo de caminhada até o PED é superior a 9 minutos revela maior concentração nas periferias do município, em especial, vilas e favelas. Destacam-se as concentrações de domicílios no norte da regional Norte, em especial nas ocupações urbanas da região do Isidoro, bem como no bairro Zilah Spósito. Na regional Nordeste, pontos quentes foram observados nos bairros Capitão Eduardo, Beira-Linha, Vila da Luz e Vila São Gabriel. Na regional Venda Nova, concentração de domicílios com tempo até o PED acima de 9 minutos foram observados nos bairros Céu Azul, Lagoa, Santa Mônica e Vila Apolônia. Na regional Oeste, concentrações de domicílios com tempo de deslocamento além do estipulado como ideal foram observados nas Vila Madre Gertrudes, Vista Alegre, Nova Cintra, Vila Ventosa, Vila Nova Paraíso, Morro das Pedras, Palmeiras e Buritis. Na regional Barreiro, as vilas Pinho, Cemig e Independência apresentaram pontos com grande

concentração de domicílios com tempo acima do estipulado como ideal. Por sua vez, na regional Centro-Sul foram observadas concentrações nos bairros Belvedere, Sion, São Bento e Santo Antônio (alta renda), além da Barragem Santa Lúcia, Vila Estrela, Vila Acaba Mundo, Novo São Lucas e Vilas Nossa Senhora de Fátima e Cafetal. Os resultados obtidos sugerem a necessidade de ações do poder público com o objetivo de promover maior acessibilidade das pessoas idosas por meio da redução das distâncias de caminhada dos domicílios até os PEDs, em especial nas áreas habitadas por população de menor renda, principal usuária do transporte público. A figura 5a apresenta mapa de densidade de Kernel dos domicílios sem pontos de embarque e desembarque acessíveis em até 9 minutos de caminhada.

A análise do tempo médio de caminhada até o PED com menor tempo de deslocamento por hexágono de Belo Horizonte (figura 5b) demonstra que a maior parte do município (1.915 hexágonos) apresenta tempo inferior a 4,5 minutos. Esses hexágonos se distribuem por todas as regionais do município, o que demonstra que há níveis considerados adequados de acesso dos idosos aos PEDs na maior parcela dos domicílios. Porém, hexágonos com tempo médio superior a 18 minutos foram observados nas periferias das regionais Norte (região das ocupações urbanas do Isidoro), além de periferias das regionais Nordeste. A figura 5b apresenta os resultados para o tempo de caminhada médio por hexágono de Belo Horizonte.

A espacialização dos resultados do IA_{pe} (figura 6) demonstra a grande variabilidade da acessibilidade no município. A maior parte dos hexágonos (1.566) apresentou valores acima de 0,93 para o índice, que varia de 0 (baixa acessibilidade urbana) a 1 (elevada acessibilidade urbana), refletindo os resultados para o tempo de caminhada. Tais hexágonos se distribuem por todo o território municipal, com destaque para o Hipercentro (com maior densidade de PEDs). A maior concentração de hexágonos com valores abaixo de 0,24 (24 hexágonos) se localiza na região das ocupações urbanas na regional Norte, que não possui (no momento de elaboração do presente trabalho) linhas regulares do transporte público por ônibus e, portanto, PEDs do sistema.

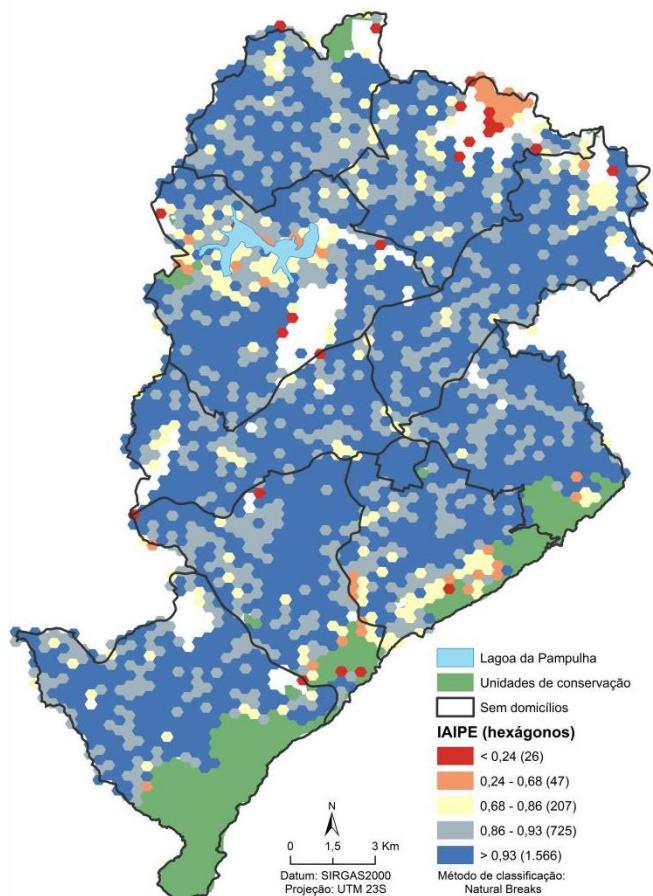
Figura 5: a) Domicílios sem pontos de embarque e desembarque acessíveis em até 9 minutos de caminhada no município de Belo Horizonte e b) Tempo médio de caminhada até o PED por hexágono de Belo Horizonte



Fonte dos dados: CNEFE (2025), Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (2025). Elaborado pelos autores.

Hexágonos de baixa acessibilidade foram também observados nas regionais Pampulha (entorno da Lagoa da Pampulha e proximidade da Mata da UFMG), resultados explicados tanto pelo baixo número de PEDs quanto pela maior participação de idosos na população. Os hexágonos de baixa acessibilidade na regional Centro-Sul podem se relacionar ao baixo número de PEDs, à elevada declividade do terreno (como na Vila Acaba Mundo), aliada à uma elevada razão de idosos na população (como se observa em bairros como Mangabeiras e São Bento). Foram observados hexágonos de baixa acessibilidade nas regionais Nordeste (bairro Capital Eduardo), Leste (bairros Pirineus e Jardim Taquaril) e Oeste. A figura 6 apresenta os resultados para o IA_{pe} em Belo Horizonte.

Figura 6: Índice de acessibilidade urbana por caminhada dos idosos até os pontos de embarque e desembarque do transporte público coletivo por ônibus em Belo Horizonte/MG (IA_{pe})



Fonte dos dados: CNEFE (2025), IPEA (2025) e Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (2025).
 Elaborado pelos autores.

Embora os resultados para o IA_{pe} demonstrem níveis considerados adequados de acessibilidade urbana dos idosos aos PEDs na maior parte dos hexágonos de Belo Horizonte, cabe destacar que fatores importantes como condições da calçada, iluminação e fatores subjetivos, como a sensação de segurança, são, assim como o tempo de caminhada, importantes variáveis para a avaliação da acessibilidade. Entende-se que estudos que se utilizam de robustas bases de dados públicos (tais como o CNEFE e OSM) e tecnologias *open-source* que permitem análises em larga escala (como o R5R) possibilitam ao poder público executar políticas de transporte mais eficazes direcionadas à população idosa, principalmente aquela residente em áreas de baixa renda.

Considerações finais

Em geral, os resultados apresentados sugerem que a acessibilidade urbana por caminhada da população idosa aos pontos de embarque do transporte público coletivo por ônibus em Belo Horizonte apresenta significativa variabilidade espacial, revelando desigualdades intrínsecas à estrutura socioespacial da cidade. A metodologia adotada, que envolveu a construção do Índice de Acessibilidade dos Idosos aos Pontos de Embarque (IA_{pe}), incorporando variáveis como tempo de caminhada ajustado por declividade e a razão de idosos

por hexágono, demonstrou-se eficaz na identificação de áreas com maior vulnerabilidade em termos de mobilidade urbana.

Os resultados evidenciam que, embora a maioria dos hexágonos do município apresente níveis considerados adequados de acessibilidade ($IA_{pe} > 0,93$), persistem territórios com baixo desempenho, sobretudo nas periferias das regionais Norte, Nordeste e Leste, além de áreas com alta densidade de idosos e elevada declividade, como algumas localidades da região Centro-Sul. Nessas áreas, o tempo médio de caminhada até os pontos de embarque supera os nove minutos estabelecidos como ideal, impondo barreiras físicas e sociais ao deslocamento da população idosa.

Tais achados reforçam a necessidade de políticas públicas que articulem planejamento urbano, mobilidade e equidade social. A ampliação da cobertura do sistema de transporte, aliada à requalificação da infraestrutura de circulação pedonal — incluindo calçadas acessíveis, sinalização adequada e equipamentos urbanos de apoio — é imperativa para garantir a inclusão e a segurança dos idosos na malha urbana. Ademais, o uso de dados públicos e ferramentas computacionais abertas, como demonstrado neste estudo, potencializa análises em larga escala com baixo custo e alta replicabilidade, podendo subsidiar estratégias mais justas e eficazes. Portanto, promover a acessibilidade urbana dos idosos é um compromisso ético e técnico para cidades mais democráticas, sustentáveis e preparadas para o envelhecimento populacional.

Agradecimentos

Ao CNPq e à Fapemig, que foram responsáveis pelo financiamento dos projetos de pesquisa em curso (CNPq APQ-409726/2022-2 e Fapemig APQ-04270-22).

Referências

- AXHAUSEN, K. W.; SCHÖNFELDER, S. **Measuring accessibility:** a review of concepts and methods. Londres: Routledge, 2003.
- BEN-AKIVA, M.; LERMAN, S. R. **Discrete choice analysis:** theory and application to travel demand. Cambridge: MIT Press, 1985.
- BOHANNON, R. W. Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20–79 years: reference values and determinants. **Age and Ageing**, Londres, v. 26, n. 1, p. 15-19, 1997.
- BOHANNON, R. W.; ANDREWS, A. W. Normal walking speed: a descriptive meta-analysis. **Physiotherapy**, [S.l.], v. 97, n. 3, p. 182-189, 2011.
- CARDOSO, L. **Transporte público, acessibilidade urbana e desigualdades socioespaciais na Região Metropolitana de Belo Horizonte.** Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- CERVERO, R. **The transit metropolis:** a global inquiry. Washington, DC: Island Press, 1998.
- CURRIE, G. **Transport for social inclusion:** challenges and opportunities. Melbourne: Monash University, 2010.
- DAVIDSON, M. **Social exclusion and transport policy.** Londres: Policy Press, 1995.

DUIM, E.; LEBRÃO, M. L.; ANTUNES, J. L. F. Walking speed of older people and pedestrian crossing time. **Journal of Transport & Health**, [S.l.], v. 5, p. 70-76, 2017.

GEURS, K. T.; VAN WEE, B. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. **Journal of Transport Geography**, [S.l.], v. 12, n. 2, p. 127-140, 2004.

GLAESER, E. L. **Triumph of the city:** how our greatest invention makes us richer, smarter, greener, healthier, and happier. Nova York: Penguin Press, 2011.

HANSEN, W. G. How accessibility shapes land use. **Journal of the American Institute of Planners**, [S.l.], v. 25, n. 2, p. 73-76, 1959.

LEVINE, J. et al. Does accessibility require density or speed? **Journal of the American Planning Association**, [S.l.], v. 78, n. 2, p. 157-172, 2012.

MINETTI, A. E. et al. Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes. **Journal of Applied Physiology**, [S.l.], 2002. DOI: <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01177.2001>.

PEREIRA, R. H. M. et al. Distribuição espacial de características sociodemográficas e localização de empregos e serviços públicos das 20 maiores cidades do Brasil. **Texto para Discussão**, n. 2772. Brasília: Ipea, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/td2772>.

PEREIRA, R. H. M.; SARAIVA, M.; HERZENHUT, D.; BRAGA, C. K. V.; CONWAY, M. W. R5R: Rapid Realistic Routing on Multimodal Transport Networks with R5 in R. **Transport Findings**, [S.l.], n. 21262, 2021. DOI: <https://doi.org/10.32866/001c.21262>.

STUDENSKI, S. et al. Gait speed and survival in older adults. **JAMA**, [S.l.], v. 305, n. 1, p. 50-58, 2011.

TORKU, A.; CHAN, A. P. C.; YUNG, E. H. K. Age-friendly cities and communities: a review and future directions. **Ageing and Society**, [S.l.], p. 1-38, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0144686X20000239>.

Recebido em: 16/06/2025.
Aprovado para publicação em: 02/09/2025.