



Avaliação da Acessibilidade de Serviços Urbanos em Cidades de Médio Porte: Integração de SIG e AHP para Suporte ao Planejamento Urbano

Assessment of Accessibility of Urban Services in Medium-Sized Cities: Integration of GIS and AHP for Urban Planning Support

Maisa Sales Gama Tobias ^[a] 


Belém, PA, Brasil

^[a] Universidade Federal do Pará (UFPA), Faculdade de Engenharia Civil

Daniel Souto Rodrigues ^[b] 

Guimarães, Portugal

^[b] Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil

Rui António Rodrigues Ramos ^[b] 

Guimarães, Portugal

^[b] Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil

Carlos Adriano Gomes Pimenta ^[a] 

Belém, PA, Brasil

^[a] Universidade Federal do Pará (UFPA), Faculdade de Engenharia Civil

MSGT é Professora Titular, Doutora em Engenharia de Transportes, e-mail: isatobias1@gmail.com


DSR é Professor Auxiliar, Doutor em Engenharia Civil, e-mail: dsr@civil.uminho.pt

RARR é Professor Associado, Doutor em Engenharia Civil, e-mail: rui.ramos@civil.uminho.pt

CAGP é Engenheiro Civil, Bacharel em Engenharia Civil, e-mail: adriano.fox15@outlook.com


NMF é Professor Associado, Doutor em Engenharia de Recursos Naturais, e-mail: nelio@ufpa.br

VLO é Graduanda em Engenharia Naval, e-mail: victlima00@gmail.com

Nélio Moura de Figueiredo ^[cl] 

Belém, PA, Brasil

^[cl] Universidade Federal do Pará (UFPA), Faculdade de Engenharia Naval

Victoria Lima de Oliveira ^[cl] 

Belém, PA, Brasil

^[cl] Universidade Federal do Pará (UFPA), Faculdade de Engenharia Naval

Como citar: Tobias, M. S., Rodrigues, D. S., Ramos, R. A. R., Figueiredo, N. M., Pimenta, C. A. G., & Oliveira, V. L. (2025). Avaliação da Acessibilidade de Serviços Urbanos em Cidades de Médio Porte: Integração de SIG e AHP para Suporte ao Planejamento Urbano. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 17, e20240284, 2025. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.017.e20240284>

Resumo

Cidades de médio porte, como Castanhal-PA, enfrentam desafios no planejamento urbano, em grande parte devido à distribuição desigual de serviços e à infraestrutura de transporte insuficiente. Este estudo avaliou a acessibilidade a serviços urbanos combinando Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Análise Hierárquica de Processos (AHP). Foram utilizados dados oficiais e levantamentos de campo para identificar áreas críticas que demandam investimentos em infraestrutura de transporte. Os resultados destacaram a necessidade de otimizar a distribuição espacial dos serviços para promover maior equidade. A metodologia adotada mostrou-se eficaz e replicável em outros contextos urbanos de médio porte, oferecendo subsídios valiosos para um planejamento urbano mais inclusivo e eficiente.

Palavras-chave: Acessibilidade. SIG. Serviços urbanos. Tomada de decisão.

Abstract

Medium-sized cities, such as Castanhal-PA, face urban planning challenges largely due to the uneven distribution of services and insufficient transportation infrastructure. This study assessed accessibility to urban services by combining Geographic Information Systems (GIS) and the Analytic Hierarchy Process (AHP). Official data and field surveys were used to identify critical areas requiring investment in transportation infrastructure. The results highlighted the need to optimize the spatial distribution of services to promote greater equity. The adopted methodology proved effective and replicable in other medium-sized urban contexts, providing valuable insights for more inclusive and efficient urban planning.

Keywords: Accessibility. GIS. Urban services. Decision-making.

Introdução

O crescimento urbano desordenado no Brasil prejudica a qualidade de vida, sobretudo nas periferias, onde a infraestrutura não acompanha a demanda crescente (Friman *et al.*, 2020). A sobrecarga dos serviços e a falta de planejamento agravam as desigualdades no acesso a saúde, educação e transporte. Ferramentas como SIG mapeiam essas disparidades com acurácia¹ (Deliry & Uyguçgil, 2023), e o AHP orienta a priorização de investimentos para atender primeiro às áreas mais carentes.

Sistemas de Informação Geográfica (SIG) mapeiam padrões e desigualdades espaciais ao integrar dados georreferenciados com variáveis socioeconômicas, produzindo mapas temáticos de acessibilidade. Entretanto, o SIG isolado não hierarquiza prioridades. O Analytic Hierarchy Process (AHP) supre essa lacuna ao atribuir pesos a múltiplos critérios de infraestrutura e acesso, resultando numa alocação de recursos mais estratégica e transparente (Moumane *et al.*, 2024).

Este estudo avalia a acessibilidade aos serviços urbanos na cidade de Castanhal, no estado do Pará, Brasil. A integração SIG-AHP oferece abordagem robusta para identificar as regiões mais carentes, ao mesmo tempo que fornece ferramentas para a tomada de decisões sólidas pelos gestores públicos. A metodologia proposta busca promover distribuição mais equitativa dos serviços urbanos, com impactos positivos na qualidade de vida em cidades de médio porte.

1. Referencial teórico

Acessibilidade urbana, como facilidade de alcançar serviços essenciais, é fundamental para revelar desigualdades no acesso a saúde, educação e transporte (Musante, 2024; Ingram, 1971). A avaliação permite identificar áreas com infraestrutura insuficiente e subsidiar políticas públicas de distribuição equitativa de serviços. O uso da expressão “equitativa” ou de “equidade” como justiça distributiva, significa alocar recursos de forma proporcional às necessidades locais, em contraste com “igualdade” estrita, que seria a distribuição uniforme dos mesmos insumos independentemente da demanda.

Friman *et al.* (2020) demonstram que a qualidade da infraestrutura de transporte impacta diretamente a qualidade de vida, sobretudo nas periferias, onde a falta de acessibilidade aprofunda desigualdades socioeconômicas. La Rosa *et al.* (2024) e Tome *et al.* (2019) destacam que, em cidades médias a dispersão espacial e a baixa densidade populacional complicam a operação de sistema de transporte eficaz, exigindo planejamento integrado que combine variáveis geográficas e demográficas para melhorar o acesso a serviços urbanos.

Vasconcellos (2014) define acessibilidade urbana pela conectividade entre áreas e o acesso direto a destinos. Huang *et al.* (2024) e Morales *et al.* (2019) enfatizam que essas dimensões são essenciais para distribuir serviços de forma equitativa e reduzir desigualdades sociais. Na sequência, examina-se como fatores em áreas mal planejadas agravam tais barreiras.

¹ No contexto de modelagem espacial, optou-se pelo termo “acurácia” para enfatizar a correspondência com a realidade medida, conforme definido por Houaiss e Villar (2009), em que acurácia “é o grau de fidelidade de uma medição ao valor verdadeiro (p. 123)”.

Em áreas mal planejadas, fatores como distância, tempo de viagem e custos de transporte agravam essas desigualdades, limitando o acesso a serviços essenciais, conforme observado por Hoggart (1973), Silva *et al.* (2024) e Mendes *et al.* (2005). Recentemente, destacam-se os trabalhos de Hasanloo *et al.* (2019) e Wijitkosum & Sriburi (2019), com modelos que integram a etapa de *fuzzificação*/AHP difuso a um ambiente SIG, combinando camadas com sobreposição ponderada. Şimşek & Alp (2022) e Basha *et al.* (2024) aplicam GIS-MCDA com *Fuzzy-AHP* e sobreposição ponderada para hierarquizar sítios de aterros sanitários e de usinas de conversão de resíduos em energia, respectivamente, reforçando a importância do planejamento urbano que priorize a acessibilidade.

A acessibilidade urbana é, portanto, direito fundamental. De Aguiar Alves *et al.* (2023) argumentam que políticas focadas exclusivamente na mobilidade física, ou seja, na capacidade de deslocar-se fisicamente pelo espaço urbano por meio de infraestrutura como calçadas, rampas, transporte público e sinalização, são insuficientes para garantir acessibilidade universal, pois ignoram barreiras socioeconômicas que afetam grupos vulneráveis, como populações de baixa renda e residentes de áreas periféricas.

Cidades médias como Castanhal-PA enfrentam infraestruturas de transporte fragilizadas e distribuição desigual de serviços, sobretudo nas periferias. La Rosa *et al.* (2024) e Beyazit & Canitez (2023) defendem o planejamento integrado de uso do solo e transporte para mitigar essas desigualdades socioespaciais, promovendo mobilidade inclusiva e distribuição equilibrada de infraestruturas urbanas. Castanhal é o caso no qual é aplicada esta abordagem neste artigo.

SIG têm sido essenciais para revelar disparidades no acesso a serviços públicos (Yigitcanlar *et al.*, 2007); Sarkar *et al.*, 2021) e, quando integrados ao AHP, priorizam áreas conforme múltiplos critérios decisórios (Deliry & Uyguçgil, 2023). A lógica *fuzzy* transforma incertezas de distância e tempo em índices graduais, e sua união com o AHP forma uma metodologia robusta de avaliação de acessibilidade urbana e apoio a políticas de equidade (Rahman & Szabó, 2022; Jiang & Eastman, 2000).

Com sua interface de *scripting*, os SIG integram AHP e lógica *fuzzy* (*Fuzzy-AHP*), enriquecendo a análise espacial. Moslem & Duleba (2019) e Al Mohamed *et al.* (2023) demonstram que essa combinação detalha e prioriza áreas para investimento, favorecendo distribuição mais justa dos serviços urbanos. Em cidades médias, onde o crescimento desordenado aprofunda desigualdades socioespaciais, essa abordagem se mostra especialmente eficaz. A aplicação do *Fuzzy-AHP* em Mersin, Turquia, e Budapeste, evidencia sua eficácia na priorização de melhorias na infraestrutura de transporte: em Mersin, questionários de usuários identificaram rotas de ônibus periféricas a serem otimizadas, elevando a satisfação e o uso do transporte público (Moslem & Duleba, 2019). Ao contexto de Castanhal-PA é examinado como replicar e adaptar essa abordagem para maximizar seus benefícios.

Em Budapeste, o *Interval-Valued Spherical Fuzzy AHP* realçou a importância da participação cidadã na definição de intervenções de transporte sustentável, priorizando ações alinhadas às necessidades locais (Moslem & Pilla, 2023). Essa abordagem gerou um plano inclusivo e eficiente, e reforçou o valor dos métodos multicritério para sistemas de transporte sustentáveis. De modo análogo, em Castanhal-PA pode-se explorar o *Interval-Valued Spherical Fuzzy AHP* para otimizar estratégias de mobilidade urbana.

Apesar da relevância das experiências de Mersin e Budapeste, é necessário reconhecer as limitações dessas comparações quando aplicadas ao contexto de Castanhal. Ambas as cidades europeias possuem populações e extensões territoriais significativamente maiores, e densidades demográficas distintas, além de níveis de infraestrutura e governança urbana mais avançados. Essas diferenças estruturais afetam diretamente a escala, a complexidade e os desafios da mobilidade urbana enfrentados. Portanto, ainda que os estudos de caso estrangeiros ofereçam *insights* metodológicos valiosos, sua extrapolação direta para Castanhal requer cautela e adaptação, considerando as especificidades socioespaciais, econômicas e institucionais da cidade amazônica.

Para garantir maior coerência contextual, deve-se observar experiências nacionais em cidades com densidade demográfica e estrutura urbana mais semelhantes à de Castanhal, como Rio Verde (GO), Marabá (PA) e Santarém (PA). Em Rio Verde, estudos demonstram como métodos participativos e análise multicritério podem subsidiar o planejamento da mobilidade urbana em cidades médias, enfrentando desafios de capilaridade, expansão urbana e integração modal (Barros, 2021). Em Marabá, situada igualmente na região Norte, aponta-se para a importância de estratégias que considerem a desigualdade de acesso entre áreas centrais e periféricas, destacando a necessidade de políticas sensíveis ao território e ancoradas na participação cidadã (Silva & Gomes, 2020). Em Santarém, ainda que a literatura acadêmica específica seja escassa, é possível inferir, a partir de estudos mais amplos sobre o planejamento cicloviário em cidades brasileiras, que o uso de modais alternativos, como a bicicleta, enfrenta obstáculos relacionados à infraestrutura precária, à ausência de integração modal e às condições climáticas e geográficas adversas. Esses elementos ganham contornos ainda mais desafiadores no contexto amazônico, marcado por dispersão urbana, desigualdade territorial e lacunas institucionais. Santos & Santos (2022) argumenta que o planejamento da mobilidade por bicicleta requer um novo olhar sobre a construção da cidade, articulando aspectos sociais, ambientais e territoriais que extrapolam as soluções técnicas convencionais. Além disso, investigações centradas em Castanhal como o de Silva (2017), indicam que os ciclistas em Castanhal enfrentam dificuldades relacionadas à infraestrutura precária, à insegurança no trânsito e à ausência de políticas específicas, entretanto, com demonstração de disposição para adotar o modo cicloviário como alternativa viável e acessível, sobretudo em deslocamentos de curta distância. Essa abordagem local evidenciou que mesmo em cidades de médio porte, é possível aplicar conceitos *Fuzzy-AHP* desde que adaptados ao contexto e às capacidades institucionais disponíveis. Em paralelo, no plano internacional, estudos sobre mobilidade urbana em municípios de pequeno e médio porte (Bezerra *et al.* (2020) destacam barreiras técnicas e institucionais comuns à implementação de ferramentas analíticas, como o *Fuzzy-AHP*, em países periféricos. Esses trabalhos sugerem que, para além das soluções técnicas, é fundamental construir uma base sólida de governança participativa e articulação intersetorial. Assim, os casos nacionais e internacionais reforçam a aplicabilidade do *Fuzzy-AHP* em contextos semelhantes ao de Castanhal, respeitando suas especificidades socioespaciais e institucionais.

2. Metodologia

Nesta seção detalha-se o procedimento metodológico adotado. A metodologia combina análise espacial em SIG com hierarquização via *Fuzzy-AHP* para mapear disparidades de acesso e priorizar

intervenções conforme as preferências da população. Ao gerar superfícies de custo-distância e atribuir pesos a critérios de acessibilidade, identifica com acurácia as áreas que mais demandam recursos e sustenta decisões estratégicas. Em Castanhal-PA, esse processo é aplicado para verificar sua eficácia diante da expansão urbana e das crescentes necessidades de serviços.

Integração de Sistemas SIG, AHP e lógica fuzzy

O SIG é utilizado para coletar e processar dados geográficos, gerando mapas de custo-distância e superfícies de atrito. Depois, integra-se AHP e lógica fuzzy (Fuzzy-AHP) para calcular índices de acessibilidade que refletem de forma acurada as dinâmicas espaciais urbanas. Dados de fontes públicas e entrevistas em destinos-chave foram georreferenciados com coordenadas acuradas (Denwood *et al.*, 2023; Ribeiro *et al.*, 2014), cobrindo serviços de saúde, comércio, educação, serviços e lazer selecionados por sua relevância urbana (Eide *et al.*, 2018). Essa coleta abrangente assegura representatividade e embasa uma análise robusta das condições de acessibilidade na área de estudo. A partir desses insumos, são detalhados os procedimentos de cálculo de superfícies de atrito e índices de acessibilidade.

Mapas de custo-distância e superfícies de atrito

A elaboração dos mapas de custo-distância envolve etapas essenciais, começando pela definição das superfícies de atrito — representações da resistência ao deslocamento no território — calculadas com base em variáveis como tipo e densidade da malha viária, presença de barreiras naturais (rios, encostas), uso do solo, declividade, tipo de pavimentação e velocidade média estimada por tipo de via. Essas variáveis são combinadas para formar coeficientes de atrito que refletem a dificuldade de locomoção em diferentes áreas, atribuindo maior peso a zonas com baixa acessibilidade. Conforme descrito por Chen *et al.* (2020), esses coeficientes permitem gerar superfícies contínuas, posteriormente visualizadas por meio de mapas temáticos: áreas claras representam trajetos com menor resistência, enquanto áreas escuras indicam regiões de acesso mais difícil (Malaker & Meng, 2024). Esses mapas são cruciais para identificar áreas prioritárias para investimentos em infraestrutura, como demonstrado em estudos anteriores (Chang *et al.*, 2012; Gelan & Girma, 2022; Kmail & Onyango, 2020). Após a criação dos mapas de custo-distância, os coeficientes de atrito são integrados ao modelo fuzzy, convertendo as distâncias geográficas em uma escala contínua e ponderada que expressa com mais acurácia a acessibilidade real aos serviços urbanos.

Aplicação da função fuzzy e ponderação dos destinos-chave

SIG e Fuzzy-AHP se combinam para modelar a acessibilidade urbana. O SIG estabelece a base espacial, enquanto a lógica Fuzzy lida com incertezas nos dados e o método AHP atribui pesos aos destinos-chave. Tem-se como destinos-chave os principais pontos de interesse que concentram serviços vitais à população — como hospitais, UPAs, agências dos Correios, escolas e praças públicas (Tabela 1). Essa união oferece uma visão mais realista da acessibilidade. Os pesos refletem a relevância de cada destino, levando em conta proximidade, capacidade de atendimento e impacto social, sendo crucial para orientar investimentos em mobilidade e melhorar o acesso a serviços urbanos essenciais.

A validação combina SIG, AHP e lógica fuzzy, metodologias reconhecidas por Jiang & Eastman (2000), Moslem & Pilla (2023) e Rahman & Szabó (2022), garantem o alinhamento com referências consolidadas. Apesar da ausência de dados observacionais e *feedback* direto, a elaboração de mapas temáticos assegura a coerência dos resultados. Posteriormente, aborda-se os limites do modelo e possíveis ajustes para o contexto local. A fim de assegurar comparabilidade, a elaboração dos mapas deste trabalho seguiu rigorosamente os passos metodológicos e critérios de classificação adotados em estudos de referência — superfícies de atrito, Fuzzy-AHP, sobreposição ponderada, intervalos de classe, quebras naturais e gradações de cor (Jiang & Eastman, 2000; Yigitcanlar *et al.*, 2007; Moslem & Pilla, 2023). Essa padronização permitiu reproduzir o padrão clássico de maior acessibilidade no núcleo urbano, que se atenua gradualmente rumo à periferia, assegurando comparabilidade direta dos resultados.

Formulação matemática do índice de acessibilidade

O índice de acessibilidade para um local i , representado por A_i , é obtido pela combinação ponderada dos custos de deslocamento, normalizados por funções fuzzy que empregam superfícies de atrito para representar condições reais de mobilidade, enquanto os pesos dos destinos-chave são derivados de um modelo AHP. Ao aplicar a fórmula da Eq. 1 é possível quantificar e comparar a acessibilidade nas diferentes áreas urbanas.

$$A_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot f\left(\frac{C_{ij}}{C_{max}}\right) \quad (1)$$

Onde:

A_i é o índice de acessibilidade no local i ;

w_j é o peso atribuído ao destino-chave j , derivado da AHP, refletindo sua importância relativa para as atividades urbanas;

C_{ij} é o custo-distância do local i ao destino-chave j , que incorpora superfícies de atrito;

C_{max} é o valor máximo do custo-distância, além do qual o acesso é considerado inviável;

$f(\cdot)$ é a função fuzzy que normaliza o custo-distância em uma escala contínua de 0 (inacessível) a 1 (totalmente acessível).

O custo-distância C_{ij} entre o local i e o destino j é obtido pela Eq. 2:

$$C_{ij} = \int_{\Gamma_{ij}} \rho(x) dx \quad (2)$$

Onde:

Γ_{ij} representa a rota ideal entre i e j dentro da rede viária, levando em conta superfícies de atrito;

$\rho(x)$ é a resistência ao movimento (ou atrito) em cada ponto x ao longo da rota, que pode variar dependendo das condições da infraestrutura.

Os coeficientes de atrito $\rho(x)$ são baseados em variáveis espaciais como o tipo de infraestrutura viária, densidade de tráfego e topografia local. Esses dados podem ser obtidos a partir de fontes de dados de tráfego em tempo real e mapas de infraestrutura, conforme Su *et al.* (2023). O uso de sensores urbanos, por exemplo, permite a coleta acurada de dados sobre as condições de deslocamento, o que garante maior realismo no cálculo das superfícies de atrito.

A Eq. 2 normaliza o custo-distância por meio de uma função fuzzy linear decrescente, o que reflete fielmente as dificuldades reais de deslocamento e equilibra acurácia e eficiência computacional (Rahman & Szabó, 2022). Em comparação a funções Gaussianas ou sigmóides, sua leveza computacional facilita o manuseio de grandes bases de dados (Moslem & Çelikbilek, 2020; Zhu, 2022), e a curva suavemente decrescente de acessibilidade, à medida que o custo aumenta, assegura transições graduais em vez de saltos abruptos (Chen *et al.*, 2020). Com esses atributos confirmados, passa-se agora à aplicação desse modelo no cálculo dos índices de acessibilidade.

A função *fuzzy* é definida pela Eq. 3:

$$f(c_{ij}) = \begin{cases} 1 & \text{se } c_{ij} \leq c_{\min} \\ \frac{c_{\max} - c_{ij}}{c_{\max} - c_{\min}} & \text{se } c_{\min} < c_{ij} < c_{\max} \\ 0 & \text{se } c_{ij} \geq c_{\max} \end{cases} \quad (3)$$

Onde:

c_{ij} é o custo-distância entre o local i e o destino j ;

c_{\min} é o custo mínimo, que representa o ponto ideal de acessibilidade;

c_{\max} é o custo máximo, além do qual o acesso é inviável.

Os parâmetros de custo mínimo (c_{\min}) e máximo (c_{\max}) são ajustados de forma dinâmica para cada região, considerando variações nos padrões de transporte e na infraestrutura, conforme Luo & Lin (2023). Esses limites são calibrados a partir de dados de sensores de tráfego e mapeamento viário, atendendo à necessidade de refletir condições de deslocamento em tempo real em áreas de alta densidade (Moslem & Çelikbilek, 2020). Vinh & Hien (2024) demonstram que essa calibragem regionalizada fortalece a acurácia da análise de acessibilidade. Depois, tem-se a aplicação dessa configuração no cálculo dos índices de acessibilidade.

Os pesos w_j são definidos pelo AHP, hierarquizando os destinos-chave pela importância para a população, com hospitais e centros educacionais recebendo maior valor, de modo que o índice de acessibilidade reflita essas prioridades e evidencie as áreas mais distantes de serviços essenciais. Posteriormente, esses pesos são aplicados no cálculo dos índices para identificar as zonas críticas de atendimento.

A integração de Fuzzy-AHP em ambiente SIG configura abordagem multicritério robusta para avaliar acessibilidade urbana, unindo condições variáveis de deslocamento e prioridades de destinos-chave por meio de normalização fuzzy linear decrescente, o que orienta decisões estratégicas e destaca áreas prioritárias para intervenção. Esse processo auxilia os tomadores de decisão na otimização da infraestrutura de transporte e na promoção de uma distribuição mais equitativa dos serviços essenciais, como indicado pelos estudos precedentes. Apesar de eficaz na análise da acessibilidade urbana, o modelo depende da qualidade e atualização dos dados de deslocamento e das variáveis

espaciais, pois informações imprecisas ou desatualizadas podem levar a distorções nos mapas gerados. Mediante limitações, o estudo de caso em Castanhal-PA apresenta a aplicação prática e a calibração do modelo para o contexto local.

A metodologia desenvolvida neste estudo integra dados espaciais e informações qualitativas obtidas por meio de entrevistas semiestruturadas com usuários dos serviços urbanos, realizadas em pontos estratégicos da cidade, conforme definido no Plano de Mobilidade Urbana de Castanhal (2020). As entrevistas, conduzidas por conveniência junto a transeuntes nos principais polos de serviços, abordaram quatro eixos temáticos exemplificativos: primeiro, o uso de serviços, com levantamento dos tipos mais frequentes (hospitais, UPAs, agências dos Correios, escolas e praças públicas); segundo, a percepção de acessibilidade, em que os entrevistados avaliaram subjetivamente fatores como tempo de deslocamento, facilidade de trajeto, conforto e segurança; terceiro, as características dos serviços, contemplando variáveis como horário de funcionamento, capacidade de atendimento e custos associados; e quarto, o perfil sociodemográfico, incluindo idade, gênero, escolaridade e bairro de residência. Todos os dados coletados foram de natureza pública e não envolveram informações sensíveis, razão pela qual se enquadraram na dispensa de avaliação prévia pelo Sistema do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP)/Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP), conforme dispõe a Resolução do Conselho Nacional de Saúde - CNS nº 510/(Conselho Nacional de Saúde,2016), que desobriga de protocolo as pesquisas de opinião pública com participantes não identificados ou que utilizem dados de acesso público; e as diretrizes gerais da Resolução CNS nº 466/2012, que regulamenta pesquisas envolvendo seres humanos. Ainda assim, todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, garantindo o anonimato das respostas e a clareza sobre o uso das informações, em estrita observância ao princípio do consentimento informado previsto na Resolução CNS nº 466/2012.

As entrevistas enriquecem a análise quantitativa ao captar nuances que dados técnicos não revelam, ampliando a representatividade e a robustez do estudo. A ausência de informações de tráfego em tempo real compromete a acurácia, indicando a necessidade de integrar sensores de mobilidade e validações empíricas. No estudo de caso em Castanhal-PA, essa limitação foi contornada ao considerar toda a área municipal, calibrar superfícies de atrito com atributos empíricos (ausência de pavimento, declividade, barreiras naturais) e empregar dados do IBGE como proxy para as condições de infraestrutura urbana.

3. Estudo de caso

Castanhal-PA, com 192 256 habitantes (IBGE, 2022) e situado a 68 km de Belém, é um polo econômico regional dependente do comércio e da rodovia BR-316, que conecta a cidade à capital e aos municípios vizinhos, mas atua como barreira física entre suas áreas norte e sul (Figura 1). A infraestrutura local revela desafios: apenas 16,9 % das vias são arborizadas e 13,9 % adequadamente urbanizadas (IBGE, 2022) e a malha cicloviária de 13,7 km limita o transporte não motorizado, mesmo com topografia favorável. A Figura 1 apresenta a evolução da expansão urbana de Castanhal-PA ao longo de um período de 130 anos, destacando o crescimento contínuo da cidade, impulsionado pela infraestrutura viária. A área territorial compreende 1.028,889 km², abrangendo tanto a zona urbanizada

quanto áreas rurais com pouca ou nenhuma malha viária. Por opção metodológica, foi considerada a totalidade dos limites municipais, de modo a avaliar disparidades não apenas na malha urbanizada, mas também em áreas onde a expansão urbana ainda carece de infraestrutura. As superfícies de atrito — calculadas a partir de atributos como ausência de vias, declividade e barreiras naturais — atribuem resistência máxima aos trechos sem malha viária, garantindo que o modelo destaque apenas as zonas com real condição de mobilidade.

Com um Produto Interno Bruto - PIB per capita de R\$ 22.897,75 e um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,673, a principal atividade econômica da cidade é o comércio, o que a posiciona como um polo regional de destaque, figurando entre as principais cidades do Estado do Pará (IBGE, 2022). A rodovia BR-316, juntamente com a malha viária estadual que conecta Castanhal-PA a municípios adjacentes (PA-136, PA-129, PA-146 e PA-320), conforme ilustrado na Figura 2, é um fator crucial para o desenvolvimento econômico local. Entretanto, a infraestrutura para o transporte não motorizado, como as ciclovias, ainda é insuficiente, totalizando apenas 13,7 km de vias cicláveis, conforme apontado no Plano de Mobilidade Urbana (Castanhal, 2020).

Os principais serviços urbanos em Castanhal-PA, abrangendo saúde, comércio, educação, serviços e lazer, estão predominantemente concentrados nas áreas centrais e ao longo da rodovia BR-316. Conforme identificado no Plano de Mobilidade Urbana de Castanhal - PLANMOB (Castanhal, 2020), cerca de 80% dos principais destinos da população, como escolas, hospitais e centros administrativos, conforme ilustrado na Tabela 1, estão localizados nessas regiões centrais. Essa centralização acentua as desigualdades de acessibilidade nas zonas periféricas, que apresentam uma infraestrutura menos desenvolvida.

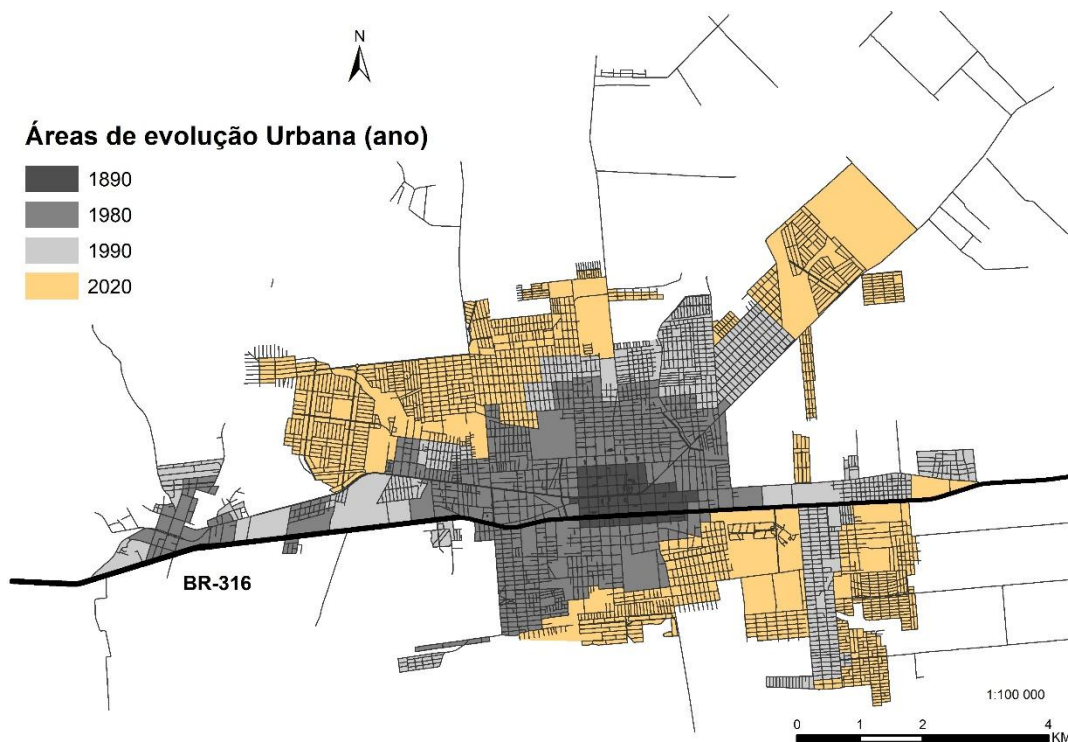


Figura 1 – Expansão do espaço urbano de Castanhal-PA. Fonte: Autores (2023).

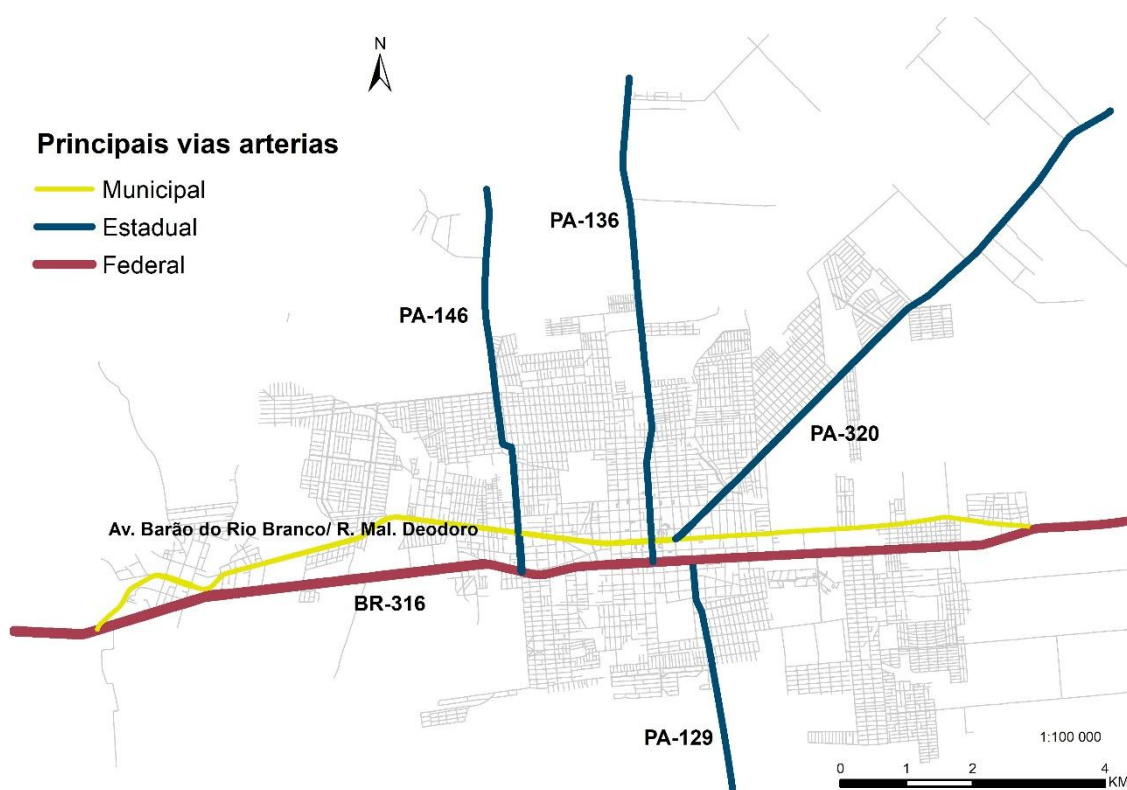


Figura 2 – Principais vias de Castanhal-PA. Fonte: Autores (2023).

Tabela 1 - Destinos-chave por funcionalidades de serviços urbanos de Castanhal-PA

Funcionalidades	Destinos-chave em Castanhal-PA
F1 - Saúde	Posto de Saúde da Família Sarah Martins Posto de Saúde Thellras da Costa Cunha Unidade de Saúde da Família José Alves de Souza Hospital Municipal de Castanhal Unidade de Pronto Atendimento - UPA 24 horas
F2 - Comércio	Centro Comercial Mix Matheus Atacarejo Castanhal Atacadão Supermercado Mix
F3 - Educação	Universidade Federal do Pará - UFPA Estácio Castanhal E. E. E. F. M. Profª Maria Pia dos Santos Amaral Escola Estadual Cônego Leitão Instituto Federal do Pará - IFPA
F4 - Serviços	Correios Banco do Brasil
F5 - Lazer	Praça do Cristo Praça do Estrela

Fonte: Adaptado do PLANMOB Castanhal (Castanhal, 2020).

Diante dos desafios encontrados, a análise de acessibilidade apontou áreas prioritárias para investimentos em infraestrutura. As zonas periféricas, situadas ao norte e ao sul da cidade, revelaram-

se as mais carentes em termos de acessibilidade, sobretudo pela baixa conectividade viária e pela insuficiência dos serviços de transporte público. Este estudo de caso reforça a urgência de descentralizar diversos serviços urbanos e de promover melhorias na infraestrutura, visando distribuir de forma mais equitativa os serviços essenciais.

Processamento dos dados espaciais

Para a análise de acessibilidade foram utilizados dados oficiais (IBGE, 2022 — malha viária, população e indicadores socioeconômicos — e Plano de Mobilidade Urbana de Castanhal-PA, 2020, disponibilizado pela prefeitura), além de levantamentos de campo para identificar áreas críticas que demandam investimentos em infraestrutura de transporte. Os principais serviços urbanos apresentados na Tabela 1 foram georreferenciados com base em suas coordenadas acuradas. Os dados geográficos foram complementados por informações socioeconômicas e demográficas provenientes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022) e do Plano de Mobilidade Urbana de Castanhal (Castanhal, 2020). Além disso, foram realizadas entrevistas com a população local para entender suas percepções sobre a qualidade e facilidade de acesso à infraestrutura disponível.

A pesquisa *in loco* foi realizada durante o processo de planejamento da mobilidade, em paralelo com outros levantamentos. A coleta de dados foi obtida através de um questionário estruturado com perguntas relativas aos pesos em relação aos destinos-chave para a realização de atividades em cada uma das funcionalidades. Foram realizadas 500 entrevistas junto a transeuntes que circulavam pelos pontos de origem e destino definidos pela pesquisa de mobilidade, coletando informações sobre distâncias percorridas e serviços utilizados para identificar os pesos que os usuários atribuem a cada funcionalidade de serviço e ao seu destino-chave. Basicamente, a pesquisa identificou os pesos das funcionalidades, dados os seus destinos-chave em Castanhal-PA (Tabela 1), bem como, as distâncias mínimas e máximas percorridas pelos entrevistados. Após a estruturação dos dados em SIG foram gerados os mapas para cada um dos destino-chave em relação ao demais destinos-chave alternativos das respectivas funcionalidades.

Os dados foram processados em ArcGIS e QGIS, digitalizando os pontos dos destinos-chave e gerando camadas temáticas que sustentam as superfícies de custo-distância. A partir daí, criaram-se mapas que revelam as variações espaciais de acessibilidade aos serviços urbanos. Na sequência, serão incorporadas as barreiras físicas – como a BR-316 e desníveis no relevo – para avaliar seu impacto no deslocamento.

Também, foram incluídos na análise elementos que dificultam o deslocamento urbano — as chamadas barreiras físicas — como a rodovia BR-316, que atravessa o tecido urbano sem muitos pontos de travessia seguros, e desníveis acentuados no relevo. Essas barreiras foram representadas por superfícies de atrito, mapas em que cada área recebe um coeficiente de “resistência” ao movimento, considerando fatores como a ausência de calçadas, trechos íngremes e a falta de passarelas ou semáforos que facilitem a travessia. Quanto maior o grau de dificuldade para atravessar ou contornar esses obstáculos, maior o valor de atrito atribuído àquela região. O cálculo seguiu a metodologia de Chen *et al.* (2020), que combina condições viárias e fluxo de tráfego local para gerar coeficientes de atrito impactando diretamente os índices de acessibilidade.

Aplicação da análise hierárquica de processos (AHP)

A AHP foi utilizada para atribuir pesos aos destinos-chave na análise de acessibilidade, como hospitais, escolas e centros comerciais, considerando sua relevância para a população local. A metodologia incluiu três etapas. Primeiro, foram definidos três critérios: (a) proximidade, que avalia a distância dos residentes aos serviços; (b) capacidade de atendimento, que considera a oferta de serviços em relação à demanda; e (c) relevância social, que examina a importância dos serviços na vida cotidiana. Em seguida, elaborou-se uma matriz de decisão para comparar os destinos segundo esses critérios, permitindo calcular a importância relativa de cada um, utilizando escalas de prioridade que refletem as preferências da população. Para facilitar a compreensão da estrutura de decisão empregada no AHP, apresenta-se na Figura 3 um diagrama de árvore hierárquica que mostra o objetivo do modelo, os critérios de avaliação e os destinos-chave considerados.

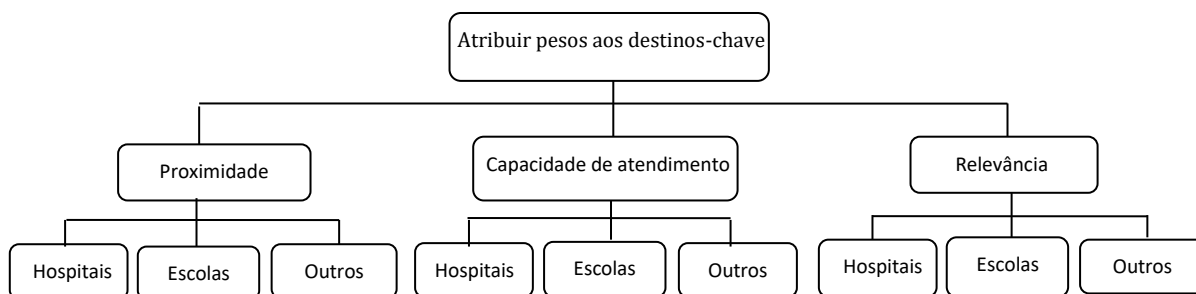


Figura 3 – Diagrama de Árvore da AHP para atribuição de pesos aos destinos-chave. Fonte: Autores (2024).

Conforme ilustrado na Figura 3, o diagrama de árvore do AHP organiza-se em três níveis: o objetivo geral ('atribuir pesos aos destinos-chave'), os critérios de avaliação (Proximidade, Capacidade de Atendimento e Relevância Social) e, na base, as alternativas (hospitais, escolas, centros comerciais e outras). Cada destino-chave foi comparado em pares frente a cada critério, o que reforça a fidelidade ao método descrito.

A integração de Fuzzy-AHP em ambiente SIG configura uma avaliação multicritério robusta, combinando condições variáveis de deslocamento e prioridades de destinos por meio de normalização fuzzy linear decrescente, o que evidencia áreas prioritárias e sustenta decisões estratégicas para otimizar infraestrutura e equidade na oferta de serviços essenciais. Na seção de Modelagem com lógica fuzzy, detalha-se esse procedimento.

Modelagem com lógica fuzzy

Para tratar a incerteza inerente aos dados espaciais e as variações nas condições de deslocamento, foi aplicada a lógica fuzzy. Essa metodologia permite transformar variáveis contínuas, como distância e tempo de viagem, em índices que variam de 0 (inacessível) a 1 (totalmente acessível), proporcionando uma escala flexível para representar a acessibilidade real da população aos serviços urbanos. Na prática, essa atribuição ocorre de forma contínua, de modo que cada custo-distância recebe um grau de pertinência que pode assumir qualquer valor real entre 0 e 1, sem "saltos" predeterminados.

A eventual apresentação em classes (por exemplo, incrementos de 0,1 ou 0,2) é apenas um artifício gráfico para a legenda dos mapas, não fazendo parte da modelagem fuzzy em si (ver Eq. 3).

A função *fuzzy* linear decrescente foi escolhida devido à sua simplicidade computacional e capacidade de refletir gradualmente a perda de acessibilidade à medida que os custos de deslocamento aumentam. Essa modelagem revelou-se especialmente útil para representar a acessibilidade nas áreas periféricas, onde as condições de transporte eram mais desafiadoras. A utilização da lógica *fuzzy*, portanto, contribuiu significativamente para uma análise mais acurada da acessibilidade urbana em toda a cidade de Castanhal-PA.

Criação dos mapas de acessibilidade

Com os coeficientes de atrito calibrados, elaboraram-se em SIG mapas temáticos de acessibilidade, empregando gradiente de cores (verde claro a vermelho escuro) para indicar zonas de fácil e difícil acesso a serviços essenciais. Essas visualizações destacaram disparidades espaciais, embasaram recomendações de políticas urbanas e facilitaram a comunicação dos achados a gestores em Castanhal-PA. A validação, realizada pela comparação com estudos de cidades médias e por dados de campo, comprovou a consistência dos resultados, ainda que a ausência de informações em tempo real tenha limitado parcialmente a validação empírica. Na seção de Resultados e discussões, os mapas gerados são apresentados e analisados, evidenciando disparidades espaciais e suas implicações para a equidade no acesso urbano.

4. Resultados e discussões

Foram gerados mapas representativos para cada funcionalidade, integrando-os em um conjunto que abrange atividades comerciais, serviços educacionais, de saúde, administrativos e de lazer (Tabelas 2-4). As análises das imagens obtidas (Figuras 4-6) evidenciaram desigualdades espaciais marcantes no acesso aos serviços urbanos (diferenças amplas e visíveis entre o núcleo e as periferias, ilustradas pelas gradações de cor nos mapas).

Acessibilidade ao comércio

A Tabela 2 mostra os destinos-chave de comércio levantados e a Figura 4 apresenta o mapa da acessibilidade respectivo.

Tabela 2 - Destinos-chave ao comércio em Castanhal-PA

Funcionalidade	Destinos-chave
Comércio	Centro Comercial Mix Matheus Atacarejo Castanhal Atacadão Supermercado Mix

Fonte: Autores (2023).

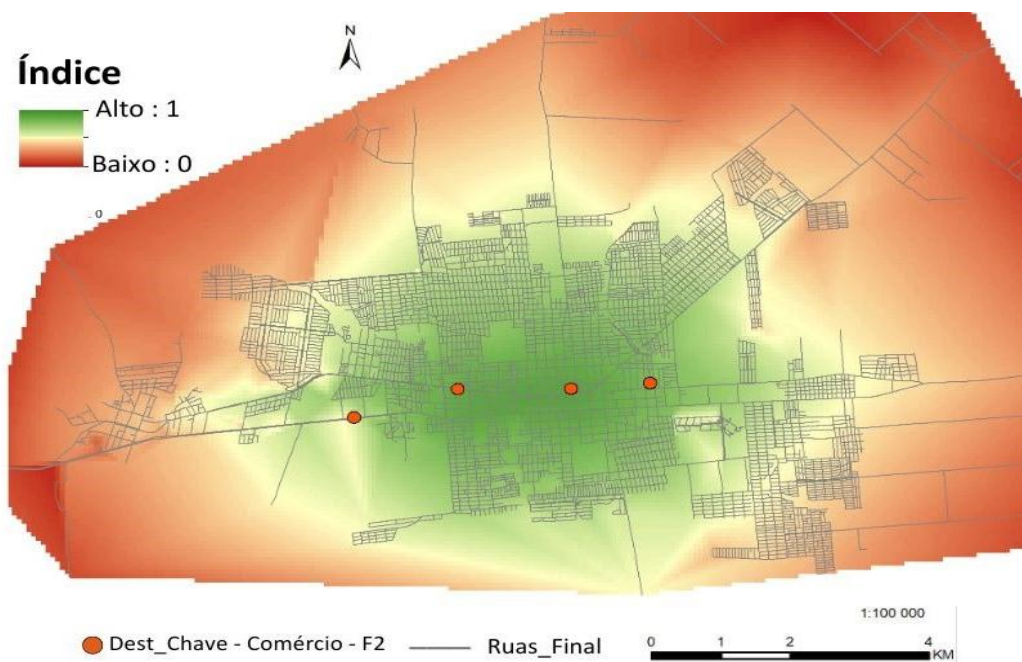


Figura 4 – Acessibilidade às atividades de comércio em Castanhal-PA. Fonte: Autores (2023).

A acessibilidade ao comércio em Castanhal-PA concentra-se nos polos ao longo da BR-316 e nas áreas centrais, atendendo bem o Centro, enquanto as periferias permanecem desassistidas. Considerando o papel dinâmico do comércio na economia local, expandir essas áreas comerciais para as margens da cidade poderia gerar empregos, facilitar o acesso a bens de consumo e descongestionar o núcleo urbano.

Acessibilidade à educação e saúde

A Tabela 3 mostra os destinos-chave de ensino e saúde levantados e a Figura 5 apresenta os mapas da acessibilidade respectivos.

Tabela 3 - Destinos-chave ao ensino e saúde em Castanhal-PA

Funcionalidade	Destinos-chave
Educação	Universidade Federal do Pará - UFPA Estácio Castanhal E. E. E. F. M. Profª Maria Pia dos Santos Amaral Escola Estadual Cônego Leitão Instituto Federal do Pará - IFPA
Saúde	Posto de Saúde da Família Sarah Martins Posto de Saúde Thellras da Costa Cunha Unidade de Saúde da Família José Alves de Souza Hospital Municipal de Castanhal UPA 24 horas

Fonte: Autores (2023).

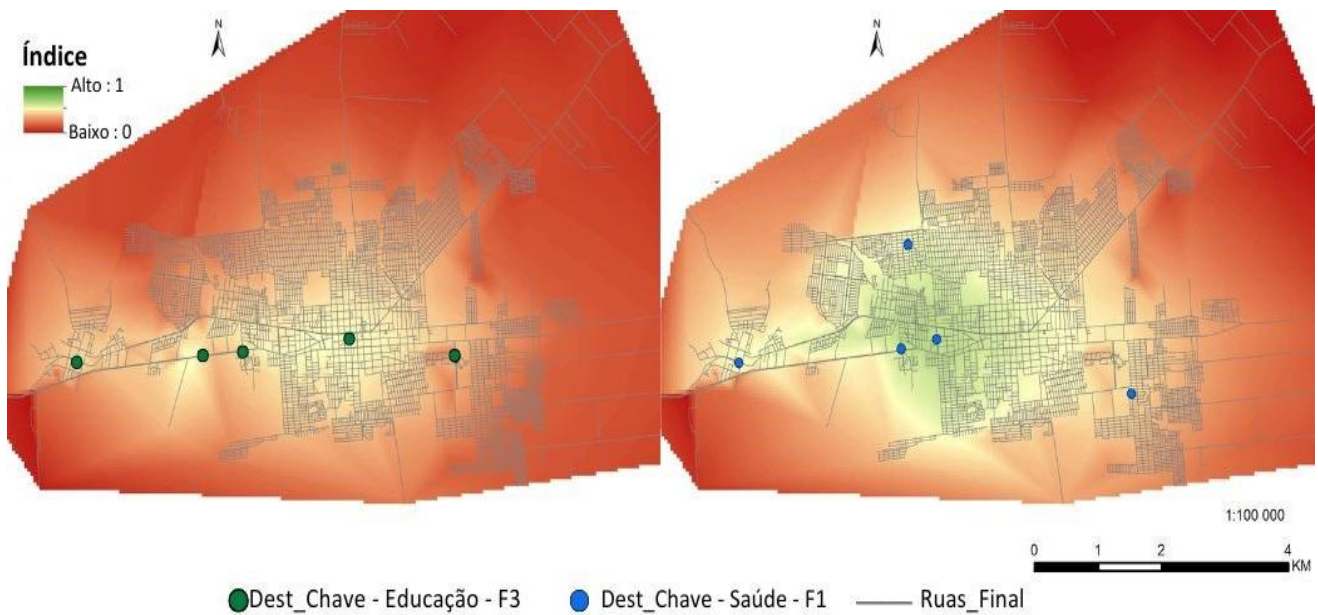


Figura 5 – Acessibilidade às unidades de ensino e aos serviços de saúde em Castanhal-PA. Fonte: Autores (2023).

Embora Fonte Boa (norte) e Jaderlândia (sul) fiquem próximos a unidades de saúde, seus índices de acessibilidade permanecem baixos porque a malha viária local — com poucas ligações diretas, falta de travessias seguras sobre a BR-316 e trechos inclinados — elevando consideravelmente o custo-distância (superfícies de atrito). Ademais, no AHP essas unidades receberam peso e capacidade de atendimento inferiores às de grandes hospitais. A combinação desses fatores resulta em acessibilidade reduzida, mesmo em curtas distâncias.

O mapa de acessibilidade ao ensino em Castanhal-PA (Figura 5) evidencia que as instituições estão concentradas ao longo da BR-316 e no centro, favorecendo moradores dessas áreas, enquanto as zonas norte e sul permanecem com baixo acesso, sobretudo devido à insuficiência do transporte público. Para mitigar essa desigualdade, recomenda-se a criação de novas escolas nas periferias e o aprimoramento do sistema de transporte. Por sua vez, o mapa de acessibilidade aos serviços de saúde em Castanhal-PA revela padrão análogo ao observado na educação: postos de saúde e hospitais concentram-se no centro e ao longo das vias principais, enquanto as periferias do sul exibem níveis muito baixos de acesso, sinalizando a urgência de novas unidades de saúde nessas regiões. O acesso restrito, especialmente em emergências, tende a agravar as condições de vida dos moradores mais distantes.

Acessibilidade aos Serviços Administrativos e ao Lazer

A Tabela 4 mostra os destinos-chave de serviços administrativos e ao lazer levantados e a Figura 6 apresenta os mapas da acessibilidade respetivos.

Tabela 4 - Destinos-chave aos serviços administrativos em Castanhal-PA

Funcionalidade	Destinos-chave
Serviços Administrativos	Correios Banco do Brasil
Lazer	Praça do Cristo Praça do Estrela

Fonte: Autores (2023).

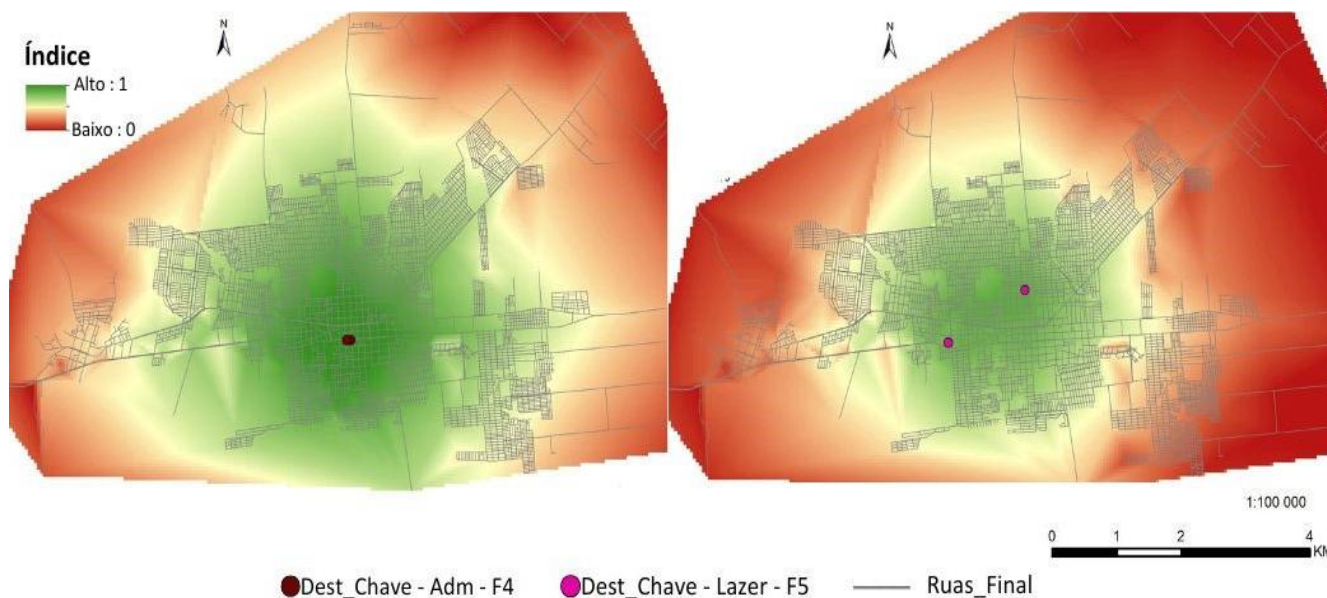


Figura 6 – Acessibilidade aos serviços administrativos e ao lazer em Castanhal-PA. Fonte: Autores (2023).

O centro de Castanhal-PA funciona como polo administrativo, com alta acessibilidade, ao passo que as áreas periféricas enfrentam acesso precário a esses serviços, o que obriga os moradores a longos deslocamentos para demandas administrativas. Espaços de lazer seguem o mesmo padrão, concentrando-se no núcleo e deixando a periferia sem opções recreativas. A descentralização de atendimentos e a criação de novos espaços de lazer nas regiões afastadas poderiam reduzir custos de deslocamento e promover bem-estar social.

Acessibilidade global

A Figura 7 exhibe o mapa de acessibilidade global para cada tipo de funcionalidade mostrada na Tabela 1, reunindo-as em um conjunto que engloba atividades comerciais, serviços de educação, saúde, administração e lazer.

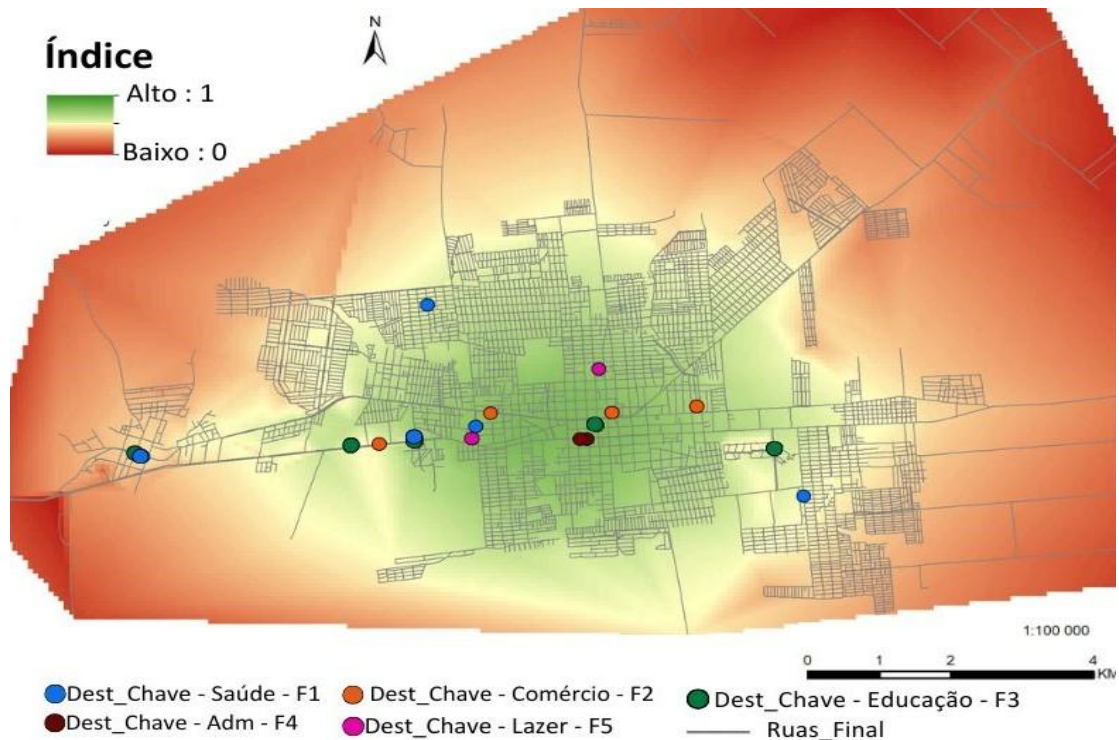


Figura 7 – Acessibilidade global aos destinos-chave de Castanhal-PA. Fonte: Autores (2023).

O mapa global de acessibilidade em Castanhal-PA evidenciou que o núcleo urbano mantém níveis elevados de acesso, enquanto as zonas periféricas ao norte e ao sul aparecem com baixíssima acessibilidade (áreas em vermelho), refletindo o padrão típico de cidades médias onde os serviços se concentram no centro. Esses achados ressaltam a urgência de investimentos em infraestrutura de transporte para equilibrar o acesso urbano.

Discussão

Em Castanhal-PA, a avaliação de acessibilidade revelou marcantes disparidades no acesso a saúde, comércio, educação, serviços e lazer. Enquanto as áreas centrais junto à BR-316 exibem elevados índices graças à concentração de serviços e infraestrutura, as periferias norte e sul sofrem com transporte público insuficiente e vias precárias, exigindo melhorias nesses sistemas. A aplicação do Fuzzy-AHP hierarquizou áreas prioritárias, apontando para a descentralização de serviços e o fortalecimento do transporte público e da infraestrutura viária como medidas cruciais para promover maior equidade no acesso urbano. Os resultados indicaram que a divisão física gerada pela BR-316, combinada à falta de ciclovias e calçadas adequadas, restringe a acessibilidade das áreas mais afastadas, sublinhando a necessidade de um planejamento urbano mais inclusivo. A centralização dos serviços nas áreas urbanizadas exacerba as disparidades entre os habitantes do centro e das periferias, obrigando-os a percorrer longas distâncias para acessar serviços básicos.

Comparando esses achados com estudos internacionais de metodologias semelhantes, pode-se extrair lições valiosas para aprimorar o planejamento de cidades médias. O estudo de Salvacion (2022), que mapeou a acessibilidade aos serviços de saúde em Marinduque (Filipinas), encontrou desigualdades

similares às de Castanhal-PA, com polos centrais bem servidos e periferias desassistidas, usando SIG e análise de redes. Enquanto Salvacion sugeriu missões médicas temporárias, em Castanhal-PA propõe-se descentralizar serviços e reforçar a infraestrutura de transporte para reduzir disparidades. Essas evidências internacionais corroboram a eficácia de abordagens multicritério e reforçam a urgência de um planejamento urbano inclusivo.

Wang *et al.* (2022), em Pequim, também identificaram desigualdades no acesso a serviços médicos decorrentes do tráfego intenso e da localização geográfica dos hospitais, padrão análogo ao criado pela BR-316 em Castanhal-PA. Em ambos os casos, a centralização dos serviços e a carência de infraestrutura nas periferias resultam em disparidades de acesso, levando à recomendação de descentralizar unidades de atendimento e reforçar a malha de transporte para promover maior equidade na acessibilidade. Essas conclusões fundamentam propostas de políticas urbanas inclusivas e sustentáveis para cidades de médio porte.

Em suma, os achados deste estudo destacam a necessidade de políticas públicas voltadas à melhoria da acessibilidade, priorizando a inclusão social e o desenvolvimento sustentável. O caso de Castanhal-PA ilustra os desafios que cidades de médio porte no Brasil enfrentam e evidencia a importância de um planejamento urbano que harmonize a expansão do centro com a integração das periferias. Em especial, os padrões de baixa acessibilidade nas áreas periféricas apontam para riscos de exclusão social, demandando a ampliação do transporte público e a descentralização de serviços urbanos. Ao mesmo tempo, o elevado uso de modais motorizados em trajetos longos reforça a urgência de iniciativas de mobilidade sustentável, como ciclovias e ônibus de baixa emissão, para mitigar impactos ambientais e promover um desenvolvimento urbano mais equilibrado.

5. Conclusões

Este estudo empregou SIG e *Fuzzy-AHP* para mapear e hierarquizar a acessibilidade a serviços urbanos em Castanhal-PA, revelando disparidades acentuadas nas periferias norte e sul, sobretudo em saúde, educação, comércio e lazer. A combinação de superfícies de custo-distância e modelagem *fuzzy* hierarquizada evidenciou o papel da BR-316 como barreira física e destacou áreas críticas que demandam intervenções, como descentralização de polos de serviço e reforço do transporte público e de infraestruturas cicloviárias. Ao integrar lógica *fuzzy*, AHP e dados empíricos, incluindo entrevistas e atributos viários, a metodologia demonstrou robustez e acurácia na identificação de prioridades para investimento. Sua aplicação em Castanhal-PA confirma a viabilidade de um framework prático e replicável em cidades médias, oferecendo subsídios diretos para gestores públicos. Assim, políticas que unam descentralização de serviços, expansão de malha cicloviária e melhorias no transporte coletivo podem promover maior equidade e qualidade de vida urbana, servindo de referência para planejamentos semelhantes em outros contextos brasileiros.

Declaração de disponibilidade de dados

O conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste artigo está disponível no SciELO DATA e pode ser acessado em <https://doi.org/10.48331/SCIELODATA.RZKUWE>.

Referências

- Al Mohamed, A. A., Al Mohamed, S., & Zino, M. (2023). Application of fuzzy multicriteria decision-making model in selecting pandemic hospital site. *Future Business Journal*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.1186/s43093-023-00185-5>
- Barros, L. C. (2021). Planejamento urbano e mobilidade: análise multicritério e participação social em cidades médias. *Revista de Planejamento Urbano e Regional*, 12(2), 105–121.
- Basha, A., Salem, A., Mostafa, W., & Farhan, M. H. (2024). Application of GIS models in determining the suitable site for a solid waste to energy plant in an urban area. *Civil Engineering Journal*, 10(1), 171–188. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-01-011>
- Beyazit, E., & Canitez, F. (2023). Sustainable urban mobility governance: rethinking the links through movement, representation and practice for a just transport system. In Z. Allam (Ed.), *Sustainable Urban Transitions* (pp. 311–327). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2695-4_18
- Bezerra, B. S., Dos Santos, A. L. L., & Delmonico, D. V. G. (2020). Unfolding barriers for urban mobility plan in small and medium municipalities – A case study in Brazil. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 132, 808–822. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.12.006>
- Castanhal. (2020). *Plano de mobilidade urbana do município de Castanhal*. <https://camaradecastanhal.pa.gov.br/wp-content/uploads/2021/05/Projeto-de-Lei-no-09-2021-do-Executivo-Municipal.pdf>
- Chang, Q., Li, X., Huang, X., & Wu, J. (2012). A GIS-based green infrastructure planning for sustainable urban land use and spatial development. *Procedia Environmental Sciences*, 12, 491–498. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.308>
- Chen, Y., She, J., Li, X., Zhang, S., & Tan, J. (2020). Accurate and efficient calculation of three-dimensional cost distance. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/ijgi9060353>
- Conselho Nacional de Saúde. (2012). *Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012: Aprova diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos*. <https://www.gov.br/conselho-nacional-de-saude/pt-br/aceso-a-informacao/atos-normativos/resolucoes/2012/resolucao-no-466.pdf>
- Conselho Nacional de Saúde. (2016). *Resolução nº 510, de 07 de abril de 2016: Dispõe sobre as normas aplicáveis a pesquisas em Ciências Humanas e Sociais cujos procedimentos metodológicos envolvam a utilização de dados diretamente obtidos com os participantes ou de informações identificáveis ou que possam acarretar riscos maiores do que os existentes na vida cotidiana*. <https://www.gov.br/conselho-nacional-de-saude/pt-br/atos-normativos/resolucoes/2016/resolucao-no-510.pdf>
- De Aguiar Alves, C. E., de Almeida Menezes, D. A., Neto, J. B. P., da Cunha Lima, M. P., & de Andrade, R. E. (2023). *A acessibilidade como um direito fundamental*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.7798082>
- Deliry, S. I., & Uyguçgil, H. (2023). Accessibility assessment of urban public services using GIS-based network analysis: A case study in Eskişehir, Türkiye. *GeoJournal*, 88(5), Article 5. <https://doi.org/10.1007/s10708-023-10900-y>
- Denwood, T., Huck, J. J., & Lindley, S. (2023). Paper2GIS: Improving accessibility without limiting analytical potential in participatory mapping. *Journal of Geographical Systems*, 25(1), Article 1. <https://doi.org/10.1007/s10109-022-00386-6>

- Eide, A. H., Dyrstad, K., Munthali, A., Van Rooy, G., Braathen, S. H., Halvorsen, T., Persendt, F., Mvula, P., & Rød, J. K. (2018). Combining survey data, GIS and qualitative interviews in the analysis of health service access for persons with disabilities. *BMC International Health and Human Rights*, 18(1), Article 1. <https://doi.org/10.1186/s12914-018-0166-2>
- Friman, M., Lättman, K., & Olsson, L. E. (2020). Public transport quality, safety, and perceived accessibility. *Sustainability*, 12(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/su12093563>
- Gelan, E., & Girma, Y. (2022). Urban green infrastructure accessibility for the achievement of SDG 11 in rapidly urbanizing cities of Ethiopia. *GeoJournal*, 87(4), Article 4. <https://doi.org/10.1007/s10708-021-10404-7>
- Hasanloo, M., Pahlavani, P., & Bigdeli, B. (2019). Flood risk zonation using a multi-criteria spatial group fuzzy-ahp decision making and fuzzy overlay analysis. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W18, 455–460. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-455-2019>
- Hoggart, K. (1973). *Transportation accessibility: Some references concerning applications, definitions, importance, and index construction* (Publication No. 93391). Transport and Road Research Laboratory. <https://trid.trb.org/View/93391>
- Houaiss, A., & Villar, M. (2009). *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa* (2ª ed.). Editora Objetiva.
- Huang, X., Kang, C., Yin, C., & Tang, J. (2024). Influence of transportation accessibility on urban-rural income disparity and its spatial heterogeneity. *Chinese Geographical Science*, 34(3), Article 3. <https://doi.org/10.1007/s11769-024-1427-8>
- IBGE. (2022). *Cidades: Panorama* [Dataset]. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/castanhal/panorama>.
- Ingram, D. (1971). The concept of accessibility: A search for an operational form. *Regional Studies*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.1080/09595237100185131>
- Jiang, H., & Eastman, J. R. (2000). Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 14(2), Article 2. <https://doi.org/10.1080/136588100240903>
- Kmail, A. B., & Onyango, V. (2020). A GIS-based assessment of green space accessibility: Case study of Dundee. *Applied Geomatics*, 12(4), Article 4. <https://doi.org/10.1007/s12518-020-00314-7>
- La Rosa, D., Pennisi, F., Pappalardo, V., & Privitera, R. (2024). Identifying accessibility gaps to urban functions and services – examples of Italian medium-sized cities. In A. Marucci, F. Zullo, L. Fiorini, & L. Saganeiti (Eds.), *Innovation in Urban and Regional Planning* (Vol. 463, pp. 230–238). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54096-7_21
- Li, Y., Lin, Y., Geertman, S., Hooimeijer, P., & Xu, W. (2021). Accessibility-based equity of public facilities: a case study in Xiamen, China. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 14(4), Article 4. <https://doi.org/10.1007/s12061-021-09387-2>
- Luo, Y., & Lin, Z. (2023). Spatial accessibility analysis and optimization simulation of urban riverfront space based on space syntax and POIs: A Case Study of Songxi County, China. *Sustainability*, 15(20), Article 20. <https://doi.org/10.3390/su152014929>
- Malaker, T., & Meng, Q. (2024). Urban disparity analytics using GIS: A systematic review. *Sustainability*, 16(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/su16145956>

- Mendes, J., Rodrigues, D., & Ramos, R. (2005). A GIS-based multicriteria model for the evaluation of territorial accessibility. In *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 84, 155–180. WIT Press. <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/84/15580>
- Morales, J., Flacke, J., Morales, J., & Zevenbergen, J. (2019). Mapping Urban accessibility in data scarce contexts using space syntax and location-based methods. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 12(2), Article 2. <https://doi.org/10.1007/s12061-017-9239-1>
- Moslem, S., & Çelikbilek, Y. (2020). An integrated grey AHP-MOORA model for ameliorating public transport service quality. *European Transport Research Review*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.1186/s12544-020-00455-1>
- Moslem, S., & Duleba, S. (2019). Sustainable urban transport development by Applying a Fuzzy-AHP model: a case study from Mersin, Turkey. *Urban Science*, 3(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/urbansci3020055>
- Moslem, S., & Pilla, F. (2023). Interval-valued spherical fuzzy AHP: Citizen engagement in sustainable urban transport development plan. In C. Kahraman & S. Cebi (Eds.), *Analytic Hierarchy Process with Fuzzy Sets Extensions* (Vol. 428, pp. 327–343). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-39438-6_15
- Moumane, A., Enajar, A. A., Ghazali, F. E. E., Khouz, A., Karmaoui, A., Al Karkouri, J., & Batchi, M. (2024). GIS, remote sensing, and analytical hierarchy process (AHP) approach for rainwater harvesting site selection in arid regions: Feija Plain case study, Zagora (Morocco). *Applied Geomatics*, 14(2), Article 2. <https://doi.org/10.1007/s12518-024-00585-4>
- Musante, F. (2024). Expansão urbana em perspectiva: Notas teóricas sobre formas, processos e modos de pensar a urbanização contemporânea. *GEOUSP*, 28(2), Article 2. <https://www.scielo.br/j/geo/a/MwHbG48g58DcNsjfFtLzQCq/>
- Rahman, Md. M., & Szabó, G. (2022). Sustainable urban land-use optimization using GIS-based multicriteria decision-making (GIS-MCDM) Approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/ijgi11050313>
- Ribeiro, A. I., Olhero, A., Teixeira, H., Magalhães, A., & Pina, M. F. (2014). Tools for address georeferencing – limitations and opportunities every public health professional should be aware of. *PLoS ONE*, 9(12), Article 12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114130>
- Salvacion, A. R. (2022). Measuring spatial accessibility of healthcare facilities in Marinduque, Philippines. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/ijgi11100516>
- Santos, J. L. D. J., & Santos, L. E. P. F. D. (2022). Planejamento e mobilidade urbana no Brasil: O uso da bicicleta como uma nova maneira de pensar e construir a cidade. *Revista de Direito da Cidade*, 14(1), Article 1. <https://doi.org/10.12957/rdc.2022.52895>
- Sarkar, T., Sarkar, D., & Mondal, P. (2021). Road network accessibility analysis using graph theory and GIS technology: A study of the villages of English Bazar Block, India. *Spatial Information Research*, 29(3), Article 3. <https://doi.org/10.1007/s41324-020-00360-8>
- Silva, A. N. R. da, Ramos, R. A. R. Souza, Rodrigues, L. C. de, Mendes, D. S., & Gomes, J. F. (2004). *SIG: Uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e de transportes: Uma ferramenta 3D para análise ambiental urbana, avaliação multicritério e redes neurais artificiais*. Ed. dos Autores.

- Silva, M. S. S. da. (2017). *O uso da bicicleta como modal para a mobilidade urbana em Castanhal (PA)*. Repositório Ânima Educação. <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/12142>
- Silva, R. L., & Gomes, F. J. (2020). *Desigualdades territoriais e mobilidade urbana em cidades amazônicas: O caso de Marabá (PA)* [Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Geografia]. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará.
- Şimşek, K., & Alp, S. (2022). Evaluation of landfill site selection by combining fuzzy tools in GIS-based multi-criteria decision analysis: a case study in Diyarbakır, Turkey. *Sustainability*, 14(16), 9810. <https://doi.org/10.3390/su14169810>
- Su, H., Li, M., Zhong, X., Zhang, K., & Wang, J. (2023). Estimating public transportation accessibility in metropolitan areas: a case study and comparative analysis. *Sustainability*, 15(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/su151712873>
- Tome, A., Santos, B., & Carvalheira, C. (2019). GIS-based transport accessibility analysis to community facilities in mid-sized cities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471, 062034. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/6/062034>
- Vasconcellos, E. (2014). *Políticas de transporte no Brasil: A construção da mobilidade excludente*. Editora Manole.
- Vinh, N. Q., & Hien, L. M. (2024). Integrating fuzzy AHP and fuzzy logic in the analysis of the innovative tourism startup model. In H. V. T. Tran, H. Shioji, H. L. T. Le, & T. Hayashi (Eds.), *Knowledge Transformation and Innovation in Global Society* (pp. 235–262). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-7301-9_12
- Wang, J., Su, Y., Chen, Z., Tang, L., Wang, G., & Wang, J. (2022). Assessing the spatial accessibility of urban medical facilities in multi-level and multi-period scales based on web mapping API and an improved potential model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/ijgi11110545>
- Wijitkosum, S., & Sriburi, T. (2019). Fuzzy AHP Integrated with gis analyses for drought risk assessment: a case study from upper Phetchaburi River Basin, Thailand. *Water*, 11(5), 939. <https://doi.org/10.3390/w11050939>
- Yigitcanlar, T., Sipe, N., Evans, R., & Pitot, M. (2007). A GIS-based land use and public transport accessibility indexing model. *Australian Planner*, 44(3), Article 3. <https://doi.org/10.1080/07293682.2007.9982586>
- Zhu, L. (2022). Research and application of AHP-fuzzy comprehensive evaluation model. *Evolutionary Intelligence*, 15(4), Article 4. <https://doi.org/10.1007/s12065-020-00415-7>
-

Editor(a) responsável: Geisa Bugs

Submissão: 11-NOV.-2024

Aceite: 31-Oct-2025