XXI Enanpur Curitiba
19 a 23 de Maio de 2025
ideias, políticas e práticas em territorialidades do Sul Global

CONEXÕES DE UMA PERSPECTIVA INTEGRADA: MODELAGEM DO SISTEMA DE CAMINHABILIDADE

Danielle Sousa Vale
Universidade Federal de Goiás | danielle.vale@discente.ufg.br
Érika Cristine Kneib
Universidade Federal de Goiás | erikakneib@ufg.br

Sessão Temática 08: Mobilidade Urbana e direito à cidade

Resumo: O estudo propõe uma abordagem para avaliar a caminhabilidade, utilizando os princípios da Teoria Geral dos Sistemas e trazendo uma visão da cidade como um grande sistema complexo. O objetivo é desenvolver uma modelagem sistêmica da caminhabilidade, a partir de elementos do Índice de Caminhabilidade, que é uma ferramenta que mensura as condições essenciais para a circulação segura e confortável dos pedestres nas cidades. A modelagem do sistema é realizada a partir de uma plataforma de visualização e análise sistêmica, a Kumu, que permite a interação e compreensão das complexas inter-relações entre os diferentes elementos urbanos. A metodologia adotada oferece uma visão integrada e, a partir dos resultados obtidos, o artigo apresenta recomendações para a melhoria da infraestrutura urbana. Além disso, a pesquisa sugere que a análise da caminhabilidade, entendida com um sistema, pode contribuir para a construção de cidades mais inclusivas, sustentáveis e voltadas para o pedestre.

Palavras-chave: Mobilidade a pé; Índice de caminhabilidade; Teoria geral dos sistemas; Modelagem.

CONNECTIONS FROM AN INTEGRATED PERSPECTIVE: MODELING THE SYSTEM OF WALKABILITY

Abstract: *The study proposes an approach to evaluate walkability, using the principles of General Systems Theory and bringing a vision of the city as a large complex system. The objective is to develop a systemic modeling of walkability, based on elements of the Walkability Index, which is a tool that measures the essential conditions for the safe and comfortable circulation of pedestrians in cities. The system modeling is carried out using a visualization and systemic analysis platform, Kumu, which allows interaction and understanding of the complex interrelationships between different urban elements. The adopted methodology offers an integrated vision and, based on the results obtained, the article presents recommendations for improving urban infrastructure. Furthermore, the research suggests that the analysis of walkability, understood as a system, can contribute to the construction of more inclusive, sustainable and pedestrian-oriented cities.*

Keywords: *Mobility on foot; Walkability index; General systems theory; Modeling.*

CONEXIONES DE UNA PERSPECTIVA INTEGRADA: MODELADO DEL SISTEMA DE CAMINABILIDAD

Resumen: *El estudio propone un enfoque para evaluar la transitabilidad, utilizando los principios de la Teoría General de Sistemas y aportando una visión de la ciudad como un gran sistema complejo. El objetivo es desarrollar un modelamiento sistémico de caminabilidad, basado en elementos del Índice de Caminabilidad, que es una herramienta que mide las condiciones esenciales para la circulación segura y cómoda de los peatones en las ciudades. El modelado del sistema se lleva a cabo utilizando una plataforma de visualización y análisis sistémico, Kumu, que permite la interacción y comprensión de las complejas interrelaciones entre diferentes elementos urbanos. La metodología adoptada ofrece una visión integrada y, a partir de los resultados obtenidos, el artículo presenta recomendaciones para mejorar la infraestructura urbana. Además, la investigación sugiere que el análisis de la caminabilidad, entendida como un sistema, puede contribuir a la construcción de ciudades más inclusivas, sostenibles y orientadas a los peatones.*

Palabras clave: *Movilidad a pie; Índice de caminabilidad; Teoría general de sistemas; Modelado.*

INTRODUÇÃO

Como pensamento inicial que impulsiona o estudo e desenvolvimento de descobertas acerca do tema, tem-se a cidade como um bem público de construção coletiva (Park, 1973), feita por pessoas e para as pessoas (Gehl, 2015); e, a mobilidade urbana, um sistema que deve garantir o direito à cidade para todas as pessoas, independentemente de suas especificidades. Tendo isso em vista, é importante pensar a cidade na escala do pedestre, a partir da ideia de que o espaço público, principalmente a rua, deve ser utilizado por muitos grupos de pessoas, de características diversas, a fim de possibilitar o contato com o entorno e as interações interpessoais (Gehl, 2015).

O modo ativo é tratado por muitos autores como os deslocamentos a pé e por bicicleta (Kneib, 2014; Gehl, 2015; Portugal et al., 2017; Cervero, 2016). Esse modo é contemplado na Política Nacional de Mobilidade Urbana – PNMU (Brasil, 2012), a partir do conceito do transporte não motorizado. A PNMU estabelece como diretriz a priorização dos transportes não motorizados em relação aos motorizados, evidenciando o princípio de desenvolvimento sustentável das cidades. Para que se cumpra essa "priorização", existem especificidades e métodos a serem estudados e implantados para que sejam utilizados efetivamente. Para que esses deslocamentos ativos aconteçam na cidade é imprescindível que haja condições adequadas para sua realização, sendo necessária a articulação entre os elementos que os promovam, tais como, calçadas, travessias, locais de descanso, conforto térmico, fontes de hidratação, entre outros (ITDP, 2019).

Em relação aos benefícios desse modo de transporte e o seu princípio de desenvolvimento sustentável, a mobilidade a pé é de grande valor para o estímulo do comércio local e para a melhoria da qualidade de vida das pessoas por possibilitar melhora da saúde, redução de acidentes, e interações sociais (Portugal et al., 2017; Gehl, 2015; Kneib, 2014).

Conforme Speck (2016), a caminhabilidade está naqueles lugares que concentram o melhor que a cidade pode oferecer em uma área, ou seja, precisa atender as condições de: ser proveitosa, segura, confortável e interessante. Sendo assim, a concentração dessas condições, não dispersão, é a base para que o modal a pé tenha sua função bem sucedida. Nesse sentido, os autores Leão et al. (2020) e Mccartney et al. (2012) trazem que a mobilidade a pé tem uma conexão importante com as economias urbanas, trazendo evidências sobre a conectividade da rede viária e a maior movimentação de pedestres.

Durante grande parte do século XX, a abordagem de planejamento urbano com foco em veículos motorizados ocorreu amplamente às custas de considerações voltadas às necessidades dos modos ativos de transporte. Tal modelo tem sido questionado já há algumas décadas, notadamente por autores como Jane Jacobs (1961) e Jan Gehl (1971, 2010) – cujos trabalhos pioneiros apresentam críticas pertinentes às políticas urbanas centradas na expansão de infraestrutura destinada a veículos motorizados. Em contrapartida, estes autores valorizaram no seu trabalho o pedestre e a vida urbana, que este estudo também tem como princípio.

Como justificativa quantitativa para o objeto de estudo, a Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP, 2014), traz que nas cidades brasileiras com mais de 60.000 habitantes, 36% das viagens são realizadas a pé até os seus destinos, enquanto 27% são realizadas em transporte individual motorizado e 29%, em transporte público coletivo. O alto percentual obtido em relação às viagens feitas a pé acentua a importância de se desenvolver ferramentas para analisar a qualidade dos espaços urbanos sob o ponto de vista e protagonismo do pedestre.

O modal a pé possui especificidades que precisam ser levadas em consideração no momento de realizar propostas e estudar esta forma de deslocamento. Sendo um destes a grande liberdade de movimento, no qual podem trocar de direção instantaneamente, movendo-se também para o lado e para trás. Seu deslocamento envolve esforço físico e contato direto com o entorno. Sua baixa velocidade – normalmente entre 0,7m/s (pessoas com mobilidade reduzida) e 1,2m/s (pessoas saudáveis) - (ITDP, 2019), acentua a interação com o espaço urbano que o circunda, fazendo com que detalhes imperceptíveis para um condutor de automóvel tenham um impacto significativo para os pedestres.

Sabendo da importância de novos estudos que tenham como foco a mobilidade a pé, foca-se numa perspectiva da pesquisa em mobilidade que está relacionada ao paradigma científico e social, que é intitulado por Capra (2014) de "visão de mundo holística", a visão sistêmica do fenômeno, em que os estudos são direcionados para a compreensão da totalidade integrada e o foco está sobre as interações entre as partes.

As peculiaridades do deslocamento dos pedestres e as condições do espaço urbano que favorecem a caminhada têm chamado a atenção de um número crescente de estudiosos nas últimas décadas, e o conceito de caminhabilidade vem ganhando força nas discussões sobre mobilidade, planejamento e desenho urbano. Assim, como reforça Lopes (2023), destaca-se a relevância da priorização da mobilidade a pé como forma de deslocamento, dentro de uma perspectiva contemporânea de planejamento urbano de cidade, a partir de um novo paradigma científico que inclui a visão sistêmica do fenômeno. Nesse caso, a mobilidade sistêmica.

A partir desse panorama, o objetivo central do trabalho se trata de modelar um sistema para a caminhabilidade, com base nos elementos obtidos atráves do Índice de Caminhabilidade (iCam), que é uma ferramenta que permite mensurar as características do ambiente urbano determinantes para a circulação dos pedestres, é composto por quinze indicadores agrupados em seis diferentes categorias. A partir dessas categorias e indicadores, é possível realizar a modelagem a partir da Teoria Geral dos Sistemas e da plataforma de software *Kumu.* Através da modelagem, é possível obter novas formas de visualização dos elementos, e com isso intervenções mais conectadas um com o outro.

A TEORIA GERAL DOS SISTEMAS (TGS)

A partir do pressuposto de que a mobilidade é vista como um fenômeno sistêmico, busca-se entender melhor as premissas de tal conceito. Segundo Bertalanffy (2015), um sistema é algo formado por um conjunto de elementos que interagem entre si, mantendo relação constante com o meio para alcançar objetivos específicos. Ao compreender o sistema por meio das interações e articulações, pode-se estabelecer que a ausência ou desarticulação de quaisquer elementos reverbera no todo sistemático, e todos elementos funcionam em prol de um mesmo objetivo.

A abordagem sistêmica de determinado objeto pressupõe que as propriedades das partes do mesmo só podem ser compreendidas a partir da organização do todo. O pensamento sistêmico pode ser utilizado na busca de compreender os princípios de organização básicos, ressaltando na afirmação que "o todo é mais do que a soma das partes" (Capra, 2014, p.28). Desta forma, estudos e análises focam em compreender as interações entre as partes, pois um sistema é entendido por Andrade (2014) como o todo unificado a partir da união e integração dessas relações. Partes isoladas, sem interações, configuram-se apenas como um aglomerado de partes independentes.

O pensamento sistêmico, definido por Capra (2014) como a forma de pensar a partir da perspectiva da rede de sistemas, se aplicado em estudos urbanos, possibilita analisar o objeto de pesquisa em seu contexto e compreender a natureza das suas relações de uma forma mais próxima. Seguindo essa linha de raciocínio, a cidade é uma composição de sistemas, e um deles é a mobilidade urbana (Naciff; Kneib; Amaral, 2019). A Teoria Geral dos Sistemas (TGS) possibilita a análise sistemática da mobilidade, complementando com estudos de Portugal et al. (2017), que destacam a necessidade de uma visão conectada e integrada da mobilidade urbana.

Como complemento que se comunica com a Teoria Geral dos Sistemas, Lopes (2023) afirma que a mobilidade urbana é um sistema, por: 1) ser composta por subsistemas que interagem entre si, sendo eles: da pessoa, do uso do solo e dos transportes, e com o ambiente externo; 2) compor um o supra sistema, ambiente externo, que é a cidade; e 3) ter um objetivo específico, que é promover o deslocamento de pessoas. Sendo assim, compreende-se que a mobilidade urbana é complexa em virtude de seus múltiplos elementos, múltiplas interações e interdependência entre seus subsistemas e com o seu ambiente externo, a cidade.

Portanto, a partir da TGS pode-se considerar um sistema como uma rede de nós interconectados, no qual o detalhamento de um sistema pode identificar outros sistemas. É possível afirmar que, dentro do sistema de mobilidade urbana encontra-se o sistema de transporte, e dentro deste, o Sistema do Modo Ativo, que abrange o sistema da mobilidade a pé dentro de si. Os sistemas podem ser simples ou complexos. Como este trabalho apresenta a cidade como supra sistema, direciona-se para os sistemas complexos, que abrangem características de hierarquia, alto grau de conectividade e não-linearidade. Através do quadro 01, traz-se um glossário no qual é possível compreender nomenclaturas utilizadas em

estudos sobre a Teoria Geral dos Sistemas, o que facilita a compreensão de palavras que venham a ser utilizadas no estudo.

Quadro 1: Glossário de termos utilizados em estudos sobre a Teoria Geral dos Sistemas (TGS)

Termos	Significado
Sistemas	Conjunto de elementos interconectados e interdependentes que trabalham juntos em busca de uma finalidade comum
Elementos	Componentes individuais de um sistema, eles podem ser pessoas, objetos, processos ou qualquer entidade relevante para o sistema em questão
Interconexões e relações	Os elementos de um sistema são ligados por relações e interações, que podem ser lineares ou complexas. Essas interconexões determinam como os elementos influenciam uns aos outros
Fronteiras	Os sistemas possuem limites que o separam do ambiente externo. Sendo assim, essas fronteiras conceituam o que está dentro e fora do sistema, além de influenciar as trocas e interações com o ambiente
Entradas e saídas	Os sistemas recebem entradas do ambiente, processam essas entradas internamente e geram saídas que impactam o ambiente
Hierarquia e subsistemas	Os sistemas podem ser compostos por subsistemas menores que têm seus próprios processos e interações, formando uma hierarquia de níveis
Objetivos e finalidades	Os sistemas têm metas ou objetivos que orientam suas interações e atividades
Ambiente	Contexto externo no qual o sistema está situado
Entropia	Grandeza que mede o nível de irreversibilidade das alterações sofridas por um sistema físico
Homeostase	Resistência a alterações por parte de um sistema com tendência a manter-se em equilíbrio
Entrada | Input	Fenômeno ou causa que inicia o funcionamento do sistema
Saída | Output	Consequência final do funcionamento do sistema. Os resultados devem ser coerentes com o propósito do sistema
Retroalimentação | feedback	Reação do sistema a estímulos exteriores. Feedbacks positivos fazem o sistema agir de acordo com a entrada recebida enquanto negativo força um funcionamento contrário (resistente)

Fonte: Capra (2014), Bertalanffy (2015). Adaptado pela autora.

Uma outra característica dos sistemas complexos é a causalidade não linear. A linearidade se refere a uma causa que produz um efeito direto. No entanto, na causalidade não linear, o resultado não é simplesmente a soma das propriedades das partes, uma vez que diversos fatores influenciam os resultados, atuando em conjunto de maneira sinérgica para gerar um efeito combinado que pode ser maior ou menor do que a soma das partes. Esse processo resulta no fenômeno emergente, ou seja, o resultado do todo, que não pode ser alcançado apenas por elementos separados. Assim, esse efeito demonstra que novos fenômenos e padrões distintos podem surgir quando as partes colaboram entre si. (Capra, 2014; Colchester, 2019; The sustainability laboratory, 2019). É desse fenômeno que se vem a inspiração para a forma de análise proposta no presente artigo.

O ÍNDICE DE CAMINHABILIDADE (ICAM) E SEUS ELEMENTOS

Para arcabouço teórico em busca da compreensão dos estudos aqui tratados, tem-se também o lado que aborda o Índice de Caminhabilidade (iCam), que é uma ferramenta que permite avaliar de forma quantitativa as características do ambiente urbano determinantes para a circulação dos pedestres, e com isso apresentar recomendações a partir dos resultados obtidos na avaliação (ITDP, 2018). A primeira versão do iCam foi lançada em 2016 pelo Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP), e passou por um aperfeiçoamento com o objetivo de aumentar o potencial de aplicação da ferramenta nas cidades brasileiras.

A caminhabilidade é entendida, em primeiro lugar, como um conjunto de condições e dimensões das calçadas e cruzamentos, além da atratividade e densidade da vizinhança, da percepção de segurança pública, das condições de segurança no trânsito e de quaisquer outras características do ambiente urbano que possam afetar a motivação das pessoas para caminhar com mais frequência e aproveitar o espaço urbano (ITDP, 2018). Esse conceito não se limita apenas a aspectos físicos; ele também abrange atributos relacionados ao uso do solo, políticas ou gestão urbana que ajudam a valorizar os espaços públicos, promovem a saúde física e mental dos cidadãos e fortalecem as relações sociais e econômicas nas escalas da rua e do bairro.

Estudos recentes revelam que a análise e o entendimento das cidades sob a ótica da caminhabilidade podem ser aprimorados com o uso de ferramentas dedicadas à medição e qualificação do espaço urbano. Nesse contexto, diversas metodologias foram criadas para desenvolver índices de caminhabilidade, com a finalidade de avaliar as condições dos ambientes urbanos em relação ao uso por pedestres. Essa ferramenta recebeu uma acolhida positiva entre vários grupos, incluindo técnicos, gestores municipais, acadêmicos e entidades da sociedade civil. Durante os anos de 2016 e 2017, o iCam foi tema de discussões, apresentações e oficinas (ITDP, 2018). A partir desses encontros surgiram sugestões para facilitar a coleta de dados, organizar as informações e melhorar certos indicadores, visando aumentar a aplicabilidade da ferramenta nas cidades brasileiras. Como consequência desse processo, o ITDP Brasil conduziu uma revisão da ferramenta, resultando na versão 2.0.

A versão 2.0 do iCam é composta por 15 indicadores, organizados em seis categorias distintas, que abordam diferentes aspectos da experiência de caminhar. Cada categoria reflete uma dimensão importante para a avaliação da caminhabilidade e serve como uma lente essencial para esse processo, sendo usada como base para a pontuação final. No quadro 02 tem-se as definições utilizadas para cada categoria:

Quadro 2: Significado de cada categoria utilizada pela ferramenta de Índice de caminhabilidade (iCam)

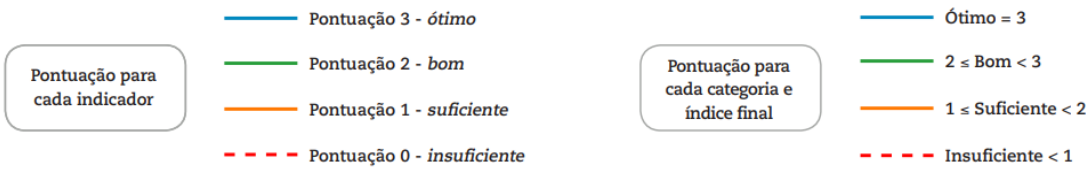
Categorias	Significado
Calçada	Incorpora a dimensão de caminhabilidade relativa à infraestrutura, considerando dimensões, superfície e manutenção do piso adequadas ao pedestre
Mobilidade	Está relacionada à disponibilidade e ao acesso ao transporte público. Avalia também a permeabilidade da malha urbana
Atração	Inclui indicadores relacionados a características de uso do solo que potencializam a atração de pedestres
Segurança viária	Esta categoria agrupa indicadores referentes à segurança de pedestres em relação ao tráfego de veículos motorizados, assim como a adequação de travessias a requisitos de conforto e acessibilidade universal
Segurança pública	Trata da influência do desenho urbano e das edificações no número de ocorrências e na sensação de segurança transmitida aos pedestres
Ambiente	Aborda aspectos ambientais que possam afetar as condições de caminhabilidade de um espaço urbano

Fonte: ITDP (2018). Adaptado pela autora.

A construção da ferramenta de índice de caminhabilidade foi baseada no Padrão de Qualidade DOTS e no "Footpath Design: A guide to creating footpaths", ambos publicados pelo Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP), dos quais alguns indicadores foram extraídos ou adaptados. Além disso, publicações da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2013; 2017), com foco em segurança viária, também contribuíram para a revisão e aprimoramento dos indicadores relacionados à caminhabilidade.

A aplicação do iCam 2.0 se baseia em três tipos de dados: (1) Dados primários, obtidos por meio de pesquisa de campo, como a medição da largura das calçadas; (2) Dados secundários, extraídos de documentação existente, imagens aéreas/satélite e ferramentas de georreferenciamento, como os levantamentos realizados pelo Google Earth; e (3) Dados secundários provenientes de agências públicas, como informações sobre a hierarquização viária (ITDP, 2018). A figura 01 demonstra como se divide a pontuação do índice de caminhabilidade (iCam), que classifica se um segmento de calçada pode ser ótimo, bom, suficiente ou insuficiente.

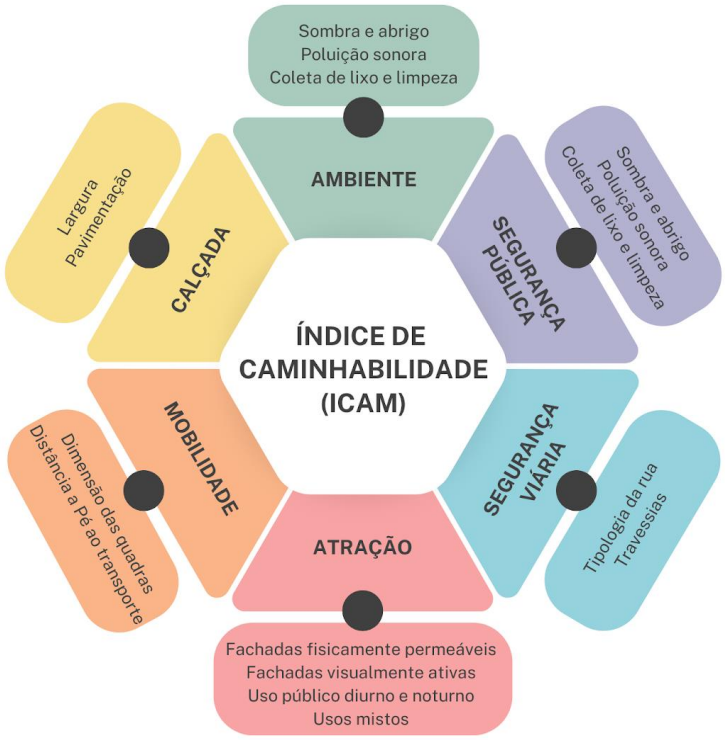
Figura 1: Pontuação para classificar segmentos de calçada de acordo com o índice de caminhabilidade (iCam)



Fonte: ITDP (2018).

Na figura 02 é possível visualizar como se dividem as categorias e seus respectivos indicadores. As categorias Calçada, Mobilidade, Segurança Viária e Segurança Pública apresentam dois indicadores cada, diferente da categoria Ambiente - com três indicadores, e da categoria Atração - com quatro indicadores. A metodologia de cálculo das categorias considera a média aritmética dos indicadores que as compõem e, portanto, um indicador da categoria Atração ou Ambiente terão pesos menores em relação aos indicadores das demais categorias (ITDP, 2018).

Figura 2: Categorias e seus respectivos indicadores adotados no índice de caminhabilidade (iCam)



Fonte: ITDP (2018). Adaptado pela autora.

A seleção dos indicadores a serem agrupados nas diferentes categorias, embora tenha sido baseada em uma revisão abrangente de referências, também envolve um certo grau de subjetividade na construção da ferramenta. Um indicador pode ser classificado em mais de uma categoria, como ocorre com o indicador "Dimensão das Quadras". Embora esteja na categoria Mobilidade, ele também poderia ser alocado nas categorias Segurança Viária, pois quadras maiores podem levar motoristas a dirigir em velocidades perigosas para os pedestres, ou Segurança Pública, pois podem dificultar a circulação de grupos vulneráveis, aumentando o risco de crimes como assaltos ou agressões; ou até Atração, já que se refere ao ambiente urbano e à qualidade do espaço construído.

Este aspecto subjetivo de agrupar as categorias, de certa forma, dialoga também com a subjetividade que é necessária para a realização de uma modelagem do sistema, que é

integrado, aproximado, ou afastado, de acordo com vivências e lógicas adotadas pelo sentido da pesquisa em si. Assim, para a modelagem do sistema, nomina-se as categorias do índice como subsistemas e os indicadores como elementos. E através dessa organização eles se diferenciam em relação ao grau de importância e posicionamento no sistema.

A ABORDAGEM SISTÊMICA E O PEDESTRE

Ao considerar a mobilidade como um sistema, no contexto científico, busca-se superar a visão cartesiana em favor de uma perspectiva mais holística. Com base na Teoria Geral dos Sistemas, passa-se a entender os fenômenos como uma rede interconectada. A aplicação do pensamento sistêmico nas análises urbanas permite uma abordagem integrada do espaço urbano, oferecendo uma visão global. Santos et al. (2017) ressaltam que as análises sistêmicas procuram refletir a complexidade das interações dentro da rede de elementos que compõem a cidade, evidenciando a interdependência entre o suprassistema, sistemas e subsistemas, como abordado por Capra (2014). No caso do índice de caminhabilidade (iCam), é fundamental a interação entre os indicadores de cada categoria para que o sistema como um todo funcione de forma mais eficaz, alcançando melhores resultados na avaliação da área analisada.

De acordo com Portugal et al. (2017), a mobilidade urbana é composta por quatro subsistemas: pessoa, transportes, uso do solo e acessibilidade. Cada um desses subsistemas, por sua vez, inclui seus próprios elementos, como segue: o subsistema de transportes, que abrange os modos de deslocamento, as infraestruturas e os serviços associados a cada modo; o subsistema de uso do solo, que envolve as características do ambiente construído e as atividades realizadas; o subsistema de pessoas, que considera as condições sociodemográficas, físicas e cognitivas dos indivíduos; e o subsistema de acessibilidade, que diz respeito à integração entre o uso do solo e os transportes.

Diante disso, para alcançar seu objetivo, o sistema de mobilidade urbana busca o equilíbrio nas interações entre seus elementos e subsistemas, com base na ideia de harmonia do todo, evitando uma visão isolada de qualquer componente ou subsistema específico (Capra, 2014). Dessa forma, o equilíbrio no sistema de mobilidade urbana está relacionado à mobilidade sustentável, pois a sustentabilidade também visa alcançar um estado de equilíbrio. No entanto, observa-se que a realidade da mobilidade urbana em muitas cidades brasileiras, com ênfase no uso do transporte motorizado individual, uma estrutura urbana desconexa e dispersa, e ações de gestão e planejamento fragmentadas e desintegradas, está distante desse equilíbrio (Kneib et al, 2022). Isso implica que o sistema de mobilidade urbana, nesse contexto, se afasta dos princípios da mobilidade sustentável. O que justifica estudos como este, que visam aprofundar ferramentas para identificação e priorização de elementos que levam um sistema ao êxito.

METODOLOGIA

Sob a ótica da abordagem sistêmica, há uma mudança de foco, passando da análise isolada dos elementos do sistema para a compreensão das interações entre eles, que precisam ser mapeadas. Isso implica uma mudança de metodologia, da simples mensuração para uma metodologia de mapeamento (Capra, 2014), em que o mapeamento das interações permite observar as configurações do sistema como um todo. Dessa forma, a Teoria Geral dos Sistemas se torna uma ferramenta fundamental para mapear essas relações e entender como os diferentes componentes do sistema se conectam e influenciam mutuamente.

Para melhor estruturação deste trabalho, visando alcançar os objetivos estabelecidos, realizou-se uma a pesquisa aplicada, por buscar solução metodológica para uma identificação mais eficaz em relação a elementos que devem ser priorizados para a construção de um sistema de mobilidade a pé, e que também se caracteriza como exploratória, ao investigar e propor a construção do sistema do índice de caminhabilidade (iCam).

Além disso, o trabalho se baseia no processo de análise de sistemas, que se estrutura em três etapas principais: 1) compreensão do contexto em que o sistema está inserido e ao qual pertence; 2) formalização do sistema, por meio da identificação de seus elementos e das relações entre eles; e 3) definição do objetivo do sistema e suas interações com outros sistemas e com o suprassistema (Colchester, 2019).

Esta pesquisa se estrutura nas seguintes etapas metodológicas:

1. Revisão bibliográfica para elaboração da base conceitual do trabalho e identificação dos elementos do sistema;

2. Construção do Sistema de Caminhabilidade, a partir da Teoria Geral dos Sistemas;

a. Mapeamento das interações dos elementos;

b. Construção do mapa do Sistema de Caminhabilidade, através de diagrama obtido com o software *Kumu*[1];

c. Mapeamento das influências entre os elementos mais conectados e obtenção de métricas através do software *Kumu*[1];

Apresenta o procedimento metodológico para a construção do Sistema de Caminhabilidade e discute os resultados relacionados aos elementos identificados.

[1] Kumu é uma plataforma de software voltada para visualização e análise de sistemas complexos.

MODELAGEM DO SISTEMA DO ÍNDICE DE CAMINHABILIDADE

É importante ressaltar que, em análises sistêmicas, o pesquisador assume um papel participativo, pois é ele quem define o recorte da realidade total, escolhendo um fenômeno específico para estudar, com base em sua experiência e habilidades. Além disso, o conhecimento gerado por esse tipo de análise é limitado ou aproximado, uma vez que resulta de uma interpretação subjetiva do fenômeno, sendo influenciado pela interação entre o pesquisador e o fenômeno observado. Isso ocorre, em parte, porque os sistemas são dinâmicos e em constante mudança (The sustainability laboratory, 2019).

A etapa de mapeamento das interações ocorre por meio do papel participativo do pesquisador (The sustainability laboratory, 2019), que se apoia em seu repertório e nos estudos direcionados à pesquisa. O processo de mapeamento das interações é uma técnica de análise que requer um aprofundamento na compreensão dos elementos do sistema para estabelecer suas relações, sendo essencial para aprofundar o entendimento do sistema como um todo (Colchester, 2019).

Para a obtenção do mapa de Caminhabilidade, foi necessário organizar as conexões dos subsistemas e elementos. Essa organização se deu da seguinte forma: (1) realização de uma tabela organizando as ligações das categorias do índice de caminhabilidade (iCam) para seus respectivos indicadores, sendo considerado o grau de conexão e importância mais forte do sistema, de acordo com associações entendidas subjetivamente pelo estudo como mais dependentes um do outro; (2) A partir da definição do primeiro grau de importância, foi feita uma varredura em relação as conexões das categorias com os outros indicadores, do qual não se conectam, levando em consideração a hierarquia adotada pelo ITDP, que foram considerados como uma força de conexão média; (3) Por fim, a ligação entre indicadores de uma categoria com indicadores de outras, foi considerada como uma conexão fraca. A tabela 01 demonstra um recorte de amostra de como foi feita a organização dos elementos de acordo com suas conexões.

A partir da definição dos graus de conexão entre um elemento e outro, categorizou-se os elementos em diferentes tipos (categorias e indicadores), suas respectivas descrições, e suas conexões. Para a organização das conexões entre um elemento e outro, parte-se do entendimento de que existe um remetente que se liga ao destinatário, tendo assim uma conexão, que pode ser definida como forte (de primeiro grau), média (de segundo grau) e fraca (de terceiro grau. Obtendo-se essa tabela, é possível realizar a exportação para a próxima fase de modelagem.

Tabela 1: Organização das categorias e indicadores de acordo com graus de conexão entre eles.

		Graus de conexão	
Elemento	**Tipo**	**Conexão forte**	**Conexão fraca**
Calçada	Categoria	Pavimentação	Poluição sonora
Mobilidade	Categoria	Dimensão quadra	Usos mistos
Atração	Categoria	Fachada ativa	Coleta de lixo
Segurança viária	Categoria	Travessias	Pavimentação
Segurança pública	Categoria	Iluminação	Tipologia de rua
Ambiente	Categoria	Coleta de lixo	Fluxo pedestre
Pavimentação	Indicadores	Largura	Distância
Largura	Indicadores	Iluminação	Travessias
Dimensão da quadra	Indicadores	Tipologia de rua	Fluxo pedestre
Distância a pé ao transporte	Indicadores	Uso público	Pavimentação
Fachadas fisicamente permeáveis	Indicadores	Fluxo pedestre	Sombra e abrigo
Fachadas visualmente ativas	Indicadores	Uso misto	Iluminação
Uso público diurno e noturno	Indicadores	Fachada permeável	Largura
Usos mistos	Indicadores	Fachada ativa	Distância ao transporte
Tipologia de rua	Indicadores	Dimensão quadra	Coleta de lixo
Travessias	Indicadores	Dimensão quadra	Poluição sonora
Iluminação	Indicadores	Sombra e abrigo	Tipologia de rua
Fluxo de pedestres diurno noturno	Indicadores	Fachada ativa	Tipologia de rua
Sombra e abrigo	Indicadores	Fluxo pedestre	Coleta de lixo
Poluição sonora	Indicadores	Fachada permeável	Coleta de lixo
Coleta de lixo e limpeza	Indicadores	Uso público	Distância ao transporte

Fonte: ITDP (2018). Adaptado pela autora.

A PLATAFORMA KUMU

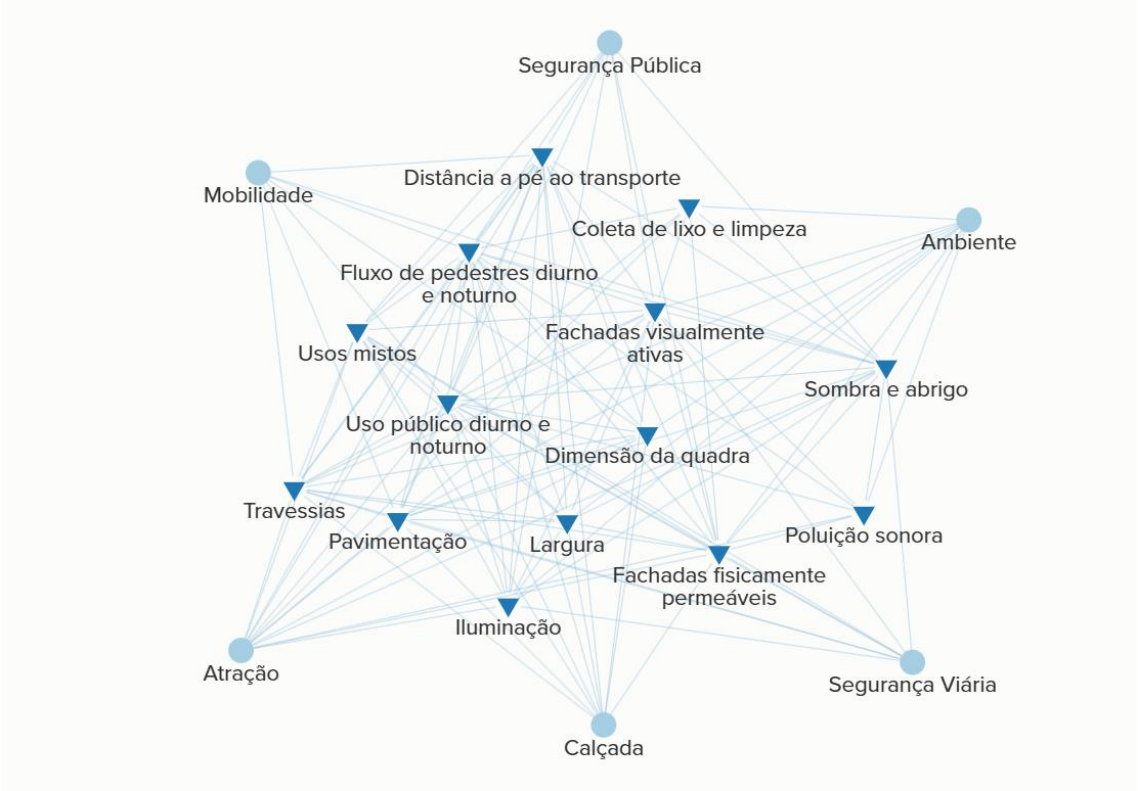
A construção de um modelo ocorre por meio do mapeamento do sistema, o que exige a coleta de informações e dados suficientes para compreender e sintetizar os aspectos essenciais do sistema (The sustainability laboratory, 2019). Nesse processo, o mapeamento do sistema se configura como uma técnica de análise de dados que possibilita a visualização do sistema por meio de diagramas. Existem diversos softwares disponíveis para a construção desses mapas, atendendo às especificidades de diferentes tipos de estudo. Dentre os mais destacados, podem-se mencionar: *Plectica*, gratuito; *InsightMaker,* também gratuito, com recursos para simular comportamentos das variáveis e criar cenários; e *Kumu*, gratuito, vinculado ao Google para carregamento de dados online, com templates prontos e a possibilidade de calcular métricas a partir da *Social Network Analysis* (SNA) (Lopes,2023). Essas características do Kumu justificam sua escolha como ferramenta para o desenvolvimento desta pesquisa.

No que diz respeito ao software utilizado, o *Kumu* foi escolhido para o mapeamento das interações entre os elementos do sistema. Desenvolvido pela startup de mesmo nome, *Kumu* permite a organização e visualização de dados complexos por meio de mapas de relacionamento. Esses mapas ajudam a visualizar o sistema como um todo, facilitando a percepção das interações entre os elementos e possibilitando análises sob diferentes perspectivas (KUMU, 2011).

MAPA DO SISTEMA DE CAMINHABILIDADE

Assim como qualquer sistema, o Sistema de Caminhabilidade é uma representação simplificada da realidade, um recorte que permite o estudo de suas dinâmicas. O diagrama do Sistema de Caminhabilidade, apresentado na Figura 3, revela o alto grau de conectividade entre os elementos, evidenciando a interdependência entre eles para que o objetivo do sistema seja atingido. Esse mapeamento reflete a complexidade do sistema e a necessidade de interação entre seus diversos componentes para alcançar um resultado que permita um melhor entendimento desse sistema.

Figura 3: Diagrama do sistema de caminhabilidade



Círculos representam categorias, triângulos representam indicadores.
Fonte: KUMU (2011). Elaborado pela autora.

ENTENDENDO AS MÉTRICAS OBTIDAS

A partir da modelagem do diagrama do sistema na plataforma *Kumu,* é possível obter métricas geradas pelo software que interpretam o sistema de maneiras diferentes em relação a conexões e graus de importância. As métricas ajudam a descobrir os principais participantes de uma rede, com base em seus relacionamentos. Realizou-se um filtro em relação as métricas obtidas, para dados que fizessem mais sentido com o sistema de Caminhabilidade que é estudado. Os elementos foram organizados em um ranking, fornecendo-se dez posições e o valor que os leva a ocupar cada posição.

CENTRALIDADE DE GRAU

A centralidade de grau é a mais simples das métricas de centralidade, contando o número de conexões que um elemento possui. Em geral, os elementos com alto grau são os conectores locais, mas não são necessariamente os mais bem conectados à rede mais ampla (KUMU, 2011). A partir dessa definição, é possível compreender que a primeira posição é o elemento que mais possui conexões com os outros elementos do sistema. Através da tabela 2 é possível visualizar que o indicador 'Uso público diurno e noturno' possui 18 conexões com outros elementos do sistema. Na última posição tem-se o indicador 'Coleta de lixo e limpeza', com 8 conexões com outros elementos do sistema.

Tabela 2: Ranking das 10 primeiras posições em relação à centralidade de grau

	Categoria: centralidade de grau	
Posição	Elemento	Valor
1°	Uso público diurno e noturno	18
2°	Fluxo de pedestres diurno e noturno	17
3°	Fachadas visualmente ativas	16
4°	Distância a pé ao transporte	15
5°	Fachadas fisicamente permeáveis	15
6°	Sombra e abrigo	15
7°	Travessias	14
8°	Atração	13
9°	Pavimentação	12
10°	Largura	12

Fonte: KUMU (2011). Adaptado pela autora.

CENTRALIDADE DE PROXIMIDADE

A proximidade mede a distância que cada elemento está de todos os outros elementos. Em geral, elementos com grande proximidade podem espalhar informações para o resto da rede com mais facilidade e geralmente têm alta visibilidade sobre o que está acontecendo na rede. (KUMU, 2011). Tendo isso em vista, é importante compreender que os elementos em posições mais altas do ranking tem a capacidade de influenciarem mais diretamente a qualidade e desempenho dos demais em relação ao objetivo em comum do sistema. O indicador 'Uso público diurno e noturno' ocupou a primeira posição, e a última colocação foi para o indicador 'Poluição sonora'.

Tabela 3: Ranking das 10 primeiras posições em relação à centralidade de proximidade

	Categoria: centralidade de proximidade	
Posição	Elemento	Valor
1°	Uso público diurno e noturno	0.974
2°	Fluxo de pedestres diurno e noturno	0.947
3°	Fachadas visualmente ativas	0.921
4°	Distância a pé ao transporte	0.895
5°	Fachadas fisicamente permeáveis	0.895
6°	Sombra e abrigo	0.895
7°	Travessias	0.868
8°	Atração	0.842
9°	Pavimentação	0.816
10°	Largura	0.816

Fonte: KUMU (2011). Adaptado pela autora.

CENTRALIDADE DE INTERMEDIAÇÃO

A centralidade de intermediação mede quantas vezes um elemento está no caminho mais curto entre dois outros elementos. Em geral, os elementos com alta intermediação têm mais controle sobre o fluxo de informações e atuam como pontes-chave dentro da rede. Eles também podem ser potenciais pontos únicos de falha (KUMU, 2011). Através dessa definição, é possível compreender que os elementos classificados como mais altos em relação à centralidade de intermediação podem revelar lacunas no desempenho e qualidade do sistema como um todo. O indicador 'Uso público diurno e noturno' novamente ocupa a primeira colocação, assim como a última é ocupada por 'Coleta de lixo e limpeza'.

Tabela 4: Ranking das 10 primeiras posições em relação à centralidade de intermediação

	Categoria: centralidade de intermediação	
Posição	Elemento	Valor
1°	Uso público diurno e noturno	0.066
2°	Fluxo de pedestres diurno e noturno	0.055
3°	Sombra e abrigo	0.043
4°	Fachadas visualmente ativas	0.040
5°	Fachadas fisicamente permeáveis	0.036
6°	Distância a pé ao transporte	0.030
7°	Travessias	0.028
8°	Atração	0.024
9°	Pavimentação	0.020
10°	Ambiente	0.020

Fonte: KUMU (2011). Adaptado pela autora.

TAMANHO DOS ELEMENTOS

O tamanho mede o número de vizinhos que um elemento possui. É semelhante ao grau, mas conta o número de elementos em vez de conexões (KUMU, 2011). Esta forma de métrica aborda a necessidade de conexão com os outros que um elemento possui, mostrando como ele se caracteriza como imprescindível para que o sistema opere em sua melhor forma. O indicador 'Uso público diurno e noturno' ocupa a primeira colocação, e na última tem-se 'Poluição sonora' e 'Coleta de lixo e limpeza' dividindo a colocação.

Tabela 5: Ranking das 10 primeiras posições em relação ao tamanho dos elementos

	Categoria: Tamanho	
Posição	Elemento	Valor
1°	Uso público diurno e noturno	19
2°	Fluxo de pedestres diurno e noturno	18
3°	Fachadas visualmente ativas	17
4°	Distância a pé ao transporte	16
5°	Fachadas fisicamente permeáveis	16
6°	Sombra e abrigo	16
7°	Travessias	15
8°	Atração	14
9°	Pavimentação	13
10°	Largura	13

Fonte: KUMU (2011). Adaptado pela autora.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da modelagem do sistema de Caminhabilidade, a partir da Teoria Geral dos Sistemas (TGS), foi possível identificar os elementos que exercem maior influência em relação aos demais, e que têm uma maior capacidade de elevar a qualidade e desempenho do sistema. Assim, entende-se que o objetivo proposto foi atingido, assim como a metodologia utilizada mostrou-se bastante favorável para atingi-lo.

Nesse contexto, é importante ressaltar, que o sistema funciona quando está conectado aos outros elementos, e quando todos funcionam para a obtenção de um mesmo objetivo. Sendo assim, a ferramenta e metodologia aplicada sobre ela podem ser úteis para entender as demandas de propostas em relação a intervenções espaciais que tenham como foco a mobilidade a pé.

O resultado da modelagem revelou um grande destaque para o elemento "uso público diurno e noturno". Tal descoberta destaca a necessidade de: i) maior atenção no planejamento e políticas urbanas no que se refere à relação uso do solo e caminhabilidade; ii) corrobora a importância de uma análise sistêmica da caminhabilidade, gerando oportunidade para reflexões e discussões sobre como os diferentes elementos se relacionam e podem influenciar um ao outro para que se alcancem melhorias na mobilidade a pé. Nesse sentido, a identificação dos graus de importância dos elementos e das lacunas apontadas da modelagem podem contribuir para decisões relativas ao processo de planejamento, às

intervenções urbanas necessárias e ao desenvolvimento de políticas públicas voltados à melhoria da caminhabilidade.

Esta pesquisa apresenta relevância social na medida em que contribui para que a mobilidade a pé seja melhor planejada e executada, obtendo assim uma forma efetiva de deslocamento, restabelecendo suas relações interdependentes com as ruas, e possibilitando o processo de apropriação por meio do incentivo de uso e imersão no espaço urbano, ampliando as relações sociais, necessárias à vida humana e à formação de comunidades.

É importante ressaltar que estas análises podem subsidiar a elaboração de projetos e políticas públicas a partir das prioridades identificadas na aplicação do sistema. Cabe aos gestores públicos, em colaboração com a população e demais atores, detalhar planos de ação identificando estratégias, recursos disponíveis e estabelecendo conjuntamente mecanismos para intervenção futura.

Este trabalho abre ainda a possibilidade de diversas pesquisas futuras que podem complementar a presente abordagem, a exemplo de inserir novos elementos e índices relacionados à caminhabilidade, ao pedestre e à mobilidade a pé na modelagem, assim como modelar tais elementos em estudos de caso específicos, considerando potencialidades e fragilidades da mobilidade a pé em determinada área.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Aurélio L. **O curso do pensamento sistêmico**. 1 ed. São Paulo: Digital Publish & Print Editora, 2014.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (ANTP). **Relatório de 2014** - Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da ANTP. Junho, 2017. Disponível em: http://www.antp.org.br/sistema-de-informacoes-da-mobilidade/apresentacao.html.

BERTALANFFY, Ludwig von. **Teoria geral dos sistemas**: fundamentos, desenvolvimento e aplicações. 1901-1972. Tradução de Francisco M. Guimarães. 8 ed. Petrópolis, RJ: Editora Vozes, 2015. 360p.

BRASIL. **LEI Nº 12.587**, de 3 de janeiro de 2012**.** Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana.

CAPRA, Fritjof. **A visão sistêmica da vida**: uma concepção unificada e suas implicações filosóficas, políticas, sociais e econômicas / Fritjof Capra e Pier Luigi Luisi; Tradução Mayra Teruya Eichemberg, Newton Roberval Eichemberg. – São Paulo: Cultrix, 2014.

CERVERO, Robert. Prefácio. In: INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **Cidade e movimento**: mobilidades e interações no desenvolvimento urbano. Org.: BALBIM, Renato; KRAUSE, Cleandro; LINKE, Clarisse Cunha. Brasília: IPEA, ITDP. 326 p., 2016.

COLCHESTER, Joss. **Systems Change**: An Introduction. A Systems Innovation Publication, Creative Commons, 2019.

GEHL, Jan. **Cidade para Pessoas** / Jan Gehl; tradução Anita Dimarco. 3ed. São Paulo: Perspectiva. 2015.

ITDP Brasil – Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento. **Índice de Caminhabilidade 2.0:** Ferramentas. 2018. Disponível em: https://itdpbrasil.org/icam2/. Acesso em: 19 nov 2024.

JACOBS, J. **The Death and Life of Great American Cities**. Random House: New York, 1961

KASPER, Humberto. **O processo do pensamento sistêmico**: um estudo das principais abordagens a partir de um quadro de referência proposto. Porto Alegre: UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Escola de Engenharia – PPGEP – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, 2000.

LOPES, Flávia Cirqueira Rodrigues. **Análise sistêmica do modo ativo**: a busca pela priorização da acessibilidade ativa nas centralidades urbanas. Dissertação (mestrado) Programa de Pós-Graduação Projeto e Cidade – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2023.

KNEIB, Erika Cristine. Mobilidade e centralidades: reflexões, relações e relevância para a vida urbana. In E. C. Kneib (Org.), **Projeto e cidade:** centralidades e mobilidade urbana. Goiânia: FUNAPE, 2014.

KNEIB, Erika Cristine. Transporte público coletivo: dos desafios globais ao panorama brasileiro / Public transport: from global challenges to the brazilian panorama. Revista de Direito da Cidade, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 794–819, 2022. DOI: 10.12957/rdc.2022.48523. Disponível em: https://www.e-publicacoes.uerj.br/rdc/article/view/48523. Acesso em: 21 nov. 2024.

KUMU. Disponível em: https://**kumu**.io/. Acesso em: 19 nov 2024.

LEÃO, Ana Luiza Favarão; ABONIZIO, Hugo Queiroz; REIS, Rodrigo Siqueira; KANASHIRO, Milena. **Walkability variables:** um empirical study in Rolândia – PR, Brazil. Ambiente Construído, (2020), 475-488, 20(2).

MCCARTNEY, Gerry; WHYTE, Bruce; LIVINGSTON, Mark; CRAWFORD, Fiona. Building a bridge, transport infrastructure and population characteristics: Explaining active travel into Glasgow. **Transport Policy**, 2012, v.21, p. 119-125. DOI: 10.1016/J.TRANPOL.2012.03.003.

NACIFF, Yordana Dias das Neves; KNEIB, Erika Cristine; AMARAL, Camilo Vladimir de Lima. **O pensamento sistêmico em análises urbanas:** uma perspectiva para o problema da

segregação socioespacial nas cidades**.** USJT ▪ arq.urb ▪ número 24 | janeiro – abril de 2019.

PARK, Robert Ezra. **A cidade:** sugestões para investigação do comportamento no meio urbano. In: VELHO, Otávio Guilherme (Org.). O Fenômeno Urbano. 2ª ed. Rio de Janeiro: Zahar Editores, p. 26-67. 1973.

PORTUGAL, L. da S. *et al*. (orgs). **Transporte, Mobilidade e Desenvolvimento** –1ed. –Rio de Janeiro: Elsevier. 2017.

SANTOS, A. P.; POLIDORI, M. C.; PERES, O. M; SARAIVA, M. V. O lugar dos pobres nas cidades: exploração teórica sobre periferização e pobreza na produção do espaço urbano Latino-Americano. Urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana** (Brazilian Journal of Urban Management), 2017 set./dez., 9(3), 430-442.

SPECK, Jeff. **Cidades caminháveis** / Jeff Speck; tradução Anita Dimarco, Anita Natividade. – 1 ed. – São Paulo: Perspectiva, 2016.

THE SUSTAINABILITY LABORATORY. **Systems Thinking & Systems Modelling**. A Course for Understanding Systems and Creating Systems Models. Novembro de 2019. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1CFvLyuhSJS9Cpfz0XDZNv-e89If8H4f2/view. Acesso em 19 nov 2024.