

## Digital twin prototype for urban walkability in city of Florianópolis

Isabela Guesser Schmitt<sup>1</sup>, Maria Livia Resende Souza<sup>2</sup>, Carlos Eduardo Verzola Vaz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil  
isagschmitt@gmail.com; resendesouza@gmail.com; carlos.vaz@ufsc.br

**Abstract.** This article presents the development of a digital twin prototype to study urban walkability in Florianópolis, Brazil. The digital twin aims to analyze the relationship between urban density, mix of uses and urban patterns, focusing on the counting of people on the sidewalks. The prototype uses ultrasonic sensors and an Arduino Uno board. Three measurement points with different patterns of occupation and land use were selected. Preliminary results revealed limitations in the sensors, especially in complex passing patterns. The roughness of the surfaces also interfered with the readings. Proposed improvements include the addition of a third sensor and the use of a tripod mount. The study contributes to the understanding of urban walkability and may provide useful information for sustainable urban planning in other cities.

**Keywords:** Virtual Environments, Digital Twin, Walkability, Ultrasonic Sensor, Arduino.

### 1 Introdução

A caminhabilidade é um importante indicador de vitalidade urbana e, por esse motivo, vem sendo cada vez mais considerada em processos de planejamento e projetos urbanos. No entanto, trata-se de um conceito complexo, composto por vários outros aspectos que, por sua vez, também exigem maior profundidade, além de não se estabelecerem isoladamente (Dovey e Pafka, 2020).

Uma forma de capturar diferentes aspectos relacionados à realidade das cidades e simular o comportamento no mundo real é a partir da construção de gêmeos digitais. Os gêmeos digitais coletam informações a partir de bancos de dados diversos, como também por meio da implantação de uma rede de sensores (Dembski et al., 2020).

A construção de um gêmeo digital que contabilize o volume de pessoas nas calçadas pode contribuir nos estudos sobre a caminhabilidade e seus desdobramentos, uma vez que o conjunto de dados coletados colaboram na

discussão dos diferentes fatores que influenciam a caminhabilidade nos meios urbanos e como estes se relacionam.

Na presente pesquisa reconhecemos a combinação entre densidade urbana, mistura de usos e padrões urbanos como elementos principais na construção do conceito de caminhabilidade. Com o intuito de compreender os diferentes fatores que influenciam no uso das calçadas, um gêmeo digital, que trata especificamente da caminhabilidade, foi construído a partir de diferentes padrões de ocupação em uma área urbana selecionada como estudo de caso. Com esse objetivo, durante a pesquisa foi desenvolvido um protótipo composto por um conjunto de sensores e uma placa de prototipagem eletrônica.

Para o estudo de caso, foi escolhida a cidade de Florianópolis, capital do Estado de Santa Catarina, na região Sul do Brasil, que, de acordo com Santiago et al. (2015) é uma cidade polinucleada e apresenta zonas de ocupação e forma urbana heterogêneas, derivadas de seu processo de desenvolvimento e ocupação.

### **1.1 Caminhabilidade e suas relações com os aspectos urbanos**

O conceito de caminhabilidade urbana vem sendo desenvolvido sob a influência de diversas perspectivas no decorrer dos anos, em áreas como a saúde e bem-estar, meio ambiente e baixa emissão de carbono. Pode-se dizer que “cidades caminháveis” é atualmente um dos principais termos nas discussões e estudos do futuro das cidades (Dovey e Pafka, 2020).

A relação entre a caminhabilidade e sua configuração urbana física, a calçada, foi objeto de expressiva análise no importante trabalho de Jane Jacobs (1961). A autora aponta a importância das calçadas como elemento de organização urbana, ao mesmo tempo em que evoca outros fatores produtores das cidades como reguladores e influenciadores diretos nos índices de caminhabilidade, com destaque para a densidade urbana e a mistura de usos (Jacobs, 1961).

No entanto, a análise puramente quantitativa dos fatores relacionados com a utilização dos passeios públicos pode não ser suficiente para compreender a intensidade de uso das calçadas. Segundo Dovey e Pafka (2020), as redes de acessos, ou seja, os formatos que são utilizados para navegar na cidade, entre edifícios e pessoas, configuram um terceiro aspecto a ser considerado para entendimento do conceito de caminhabilidade. Juntos, densidade, mistura de usos e acesso, formariam o “DMA”, as principais impressões através das quais a caminhabilidade pode ser mensurada na morfologia das cidades (Dovey e Pafka, 2020).

Gehl (2010) entende que a escala humana é um fator imprescindível para a qualidade urbana de uma localidade, uma vez que o encontro e convívio de pessoas está diretamente relacionado à vitalidade urbana. Nesse sentido, o adensamento é interpretado como uma importante ferramenta na busca por cidades mais vivas, uma vez que se propõe a concentrar maior quantidade de pessoas compartilhando o mesmo espaço. Seguindo esse mesmo raciocínio,

David Sim (2019) entende a caminhabilidade como um dos critérios de habitabilidade para áreas urbanas adensadas: o autor explica que tal critério deve ser observado por meio da capacidade de locomoção na escala do bairro, na medida em que a disposição e configurações urbanas estejam estabelecidas de maneira tal que a caminhada seja a opção de transporte mais confortável e conveniente em determinado espaço urbano.

A concentração de pessoas proposta pelo adensamento se torna mais eficiente e sustentável quando há uma articulação com a mistura de usos e funções. Isso porque a qualidade do espaço exterior - ou a vida entre os edifícios - se deve à relação entre a quantidade de pessoas, o número de atividades distintas presentes ali e a quantidade de tempo investida nesses espaços. Portanto, além da articulação entre adensamento e mistura de usos, para que uma determinada localidade apresente bons níveis de vitalidade e consequentemente, caminhabilidade, é necessário ter boas condições para se estar no espaço exterior aos edifícios (Gehl, 2006).

Por sua vez, o espaço exterior é formado por vias de diferentes hierarquias e calçadas. O desenho do qual resulta essa combinação varia em função das dimensões das quadras e lotes, formando diferentes padrões urbanos (Marshall, 2005). Segundo Dovey e Pafka (2020), é essa rede de acessos que permite o fluxo entre os componentes urbanos e a movimentação das pessoas entre eles, além de condicionar a caminhabilidade por meio da redução de distâncias e no aumento dos fluxos.

## **1.2 Gêmeo digital para caminhabilidade**

A tecnologia de gêmeos digitais se baseia na representação virtual e física de um objeto. Diferentemente dos modelos digitais tradicionais, o modelo físico apresenta uma conexão que possibilita a troca de dados entre modelos e objetos. Esta conectividade, segundo Debinske et al. (2020) permite uma troca abrangente de dados e podem conter modelos, simulações e algoritmos que descrevem sua contraparte, incluindo características e comportamentos no mundo real.

Em uma cidade, a construção de um gêmeo digital depende da sobreposição de diferentes camadas de dados obtidos a partir de outros gêmeos digitais (energia, transporte, água, etc.). Logo, os gêmeos digitais podem contribuir nos processos de planejamento urbano, uma vez que a coleta de dados permite simulações e análises dos aspectos comportamentais de seus cidadãos (Debinske et al., 2020).

Ainda segundo os autores, a implementação de uma rede de sensores nas cidades para coleta de informações tem se mostrado uma solução simples, barata e eficiente. Os gêmeos digitais, portanto, possuem grande potencial no campo das ferramentas digitais, pois permitem levantar dados quantitativos e dados empíricos qualitativos (Dembski; Wossner, Yamu, 2019). Com isso,

possibilitam uma abordagem promissora frente à complexidade das cidades e dos processos urbanos.

Um exemplo é o termo walkability ou caminhabilidade, composto por um “conjunto complexo e abstrato de fatores e inter-relações” (Dovey e Pafka, 2020, p. 98). De forma geral, segundo os autores, a caminhabilidade de um determinado local pode ser avaliada a partir de três características principais: densidade urbana, mistura de usos e as redes de acessos.

Um gêmeo digital, que trata especificamente da caminhabilidade, possibilita a captura de uma parte desse conjunto de relações, como por exemplo, os aspectos relacionados ao comportamento dos cidadãos, neste caso, o uso das calçadas. O cruzamento com demais dados, tais como a densidade urbana e o uso do solo compõem a base de uma das medidas mais atuais de caminhabilidade (Dovey; Pafka, 2020).

Essa abordagem possibilita um planejamento mais sustentável para as cidades, uma vez que pode contribuir na definição de estratégias, na otimização de recursos e melhorar a integração dos aspectos sociais.

## **2 Metodologia**

A presente pesquisa possui caráter exploratório e empírico, por meio do desenvolvimento de um protótipo de gêmeo digital para caminhabilidade urbana na cidade de Florianópolis - SC.

A metodologia estrutura-se em seis etapas: (1) compreensão das métricas relacionadas à caminhabilidade; (2) definição das variáveis de análise e de coleta de dados para construção do protótipo; (3) construção do protótipo físico e programação computacional; (4) calibração e testes; (5) definição dos pontos de medição para o estudo de caso; e (6) coleta e análise dos dados.

### **2.1 Desenvolvimento do protótipo físico e programação computacional**

Com o intuito de contabilizar a movimentação de pessoas e o sentido de tráfego nas calçadas foi desenvolvido um protótipo físico composto por: uma placa Arduino Uno, dois sensores de distância ultrassônico HC-SR04, um módulo micro SD card, um módulo real time clock RTC DS3231, uma protoboard, jumpers macho macho e macho fêmea, quatro baterias pilhas recarregáveis lithium 18650 VTC6 3.7V, quatro cases plásticos para bateria, uma caixa padrão Telecom (telecomunicações), uma canaleta PVC para fios e quatro abraçadeiras metálicas.

O componente principal do protótipo físico são os sensores ultrassônicos que funcionam a partir da emissão de ondas sonoras de alta frequência. Esse módulo possui quatro pinos, sendo eles: (1) VCC, que corresponde a

alimentação do sensor de 5V, (2) GND ou ground, (3) Trig ou trigger (disparo), pino utilizado para transmitir o pulso de ultrassom, e (4) Echo ou eco, pino que recebe e detecta o pulso de ultrassom que foi refletido por um obstáculo ou objeto (Pepperl+Fuchs, 2017).

O sensor utilizado, o HR-SR04, é um módulo de baixo custo e é capaz de medir distâncias entre dois centímetros e quatro metros. No protótipo foram instalados dois sensores, a fim de contabilizar a movimentação de pessoas, mas também o sentido de fluxo nas calçadas. Para isso, os sensores foram montados paralelamente, e para evitar a interferência entre a faixa de detecção de cada um, foi calibrado uma distância mínima entre eles.

Além dos sensores ultrassônicos, o protótipo conta com um módulo real time clock RTC DS3231, que fornece informações de data, minutos, segundos, dia, mês e ano, dados estes relevantes no registro das medições. E para gravar os dados, foi instalado um módulo micro SD card que armazena os dados em um cartão de memória em formato TXT.

Para integração dos módulos citados - sensores ultrassônicos, módulo real time clock e módulo micro SD card - foi utilizado uma protoboard e para as conexões jumpers macho macho e macho fêmea, todos conectados à placa de prototipagem eletrônica Arduino Uno. Além disso, para que o protótipo pudesse funcionar de forma autônoma, foi incluído um conjunto de pilhas recarregáveis lithium conectadas na entrada de energia do arduino.

Por fim, os módulos e componentes eletrônicos foram organizados dentro de uma caixa padrão Telecom e para sua fixação em postes foram utilizadas abraçadeiras metálicas. Optou-se por esses materiais pela sua resistência, durabilidade e trava para fechamento, além de já serem usuais em instalações elétricas, telefônicas e de internet. As figuras 01 e 02 apresentam o protótipo físico e suas respectivas conexões internas e externas.

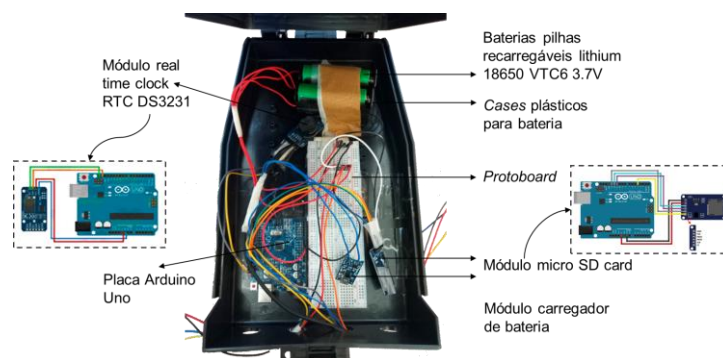


Figura 1. Montagem do protótipo físico e conexões internas. Fonte: autores, 2023.

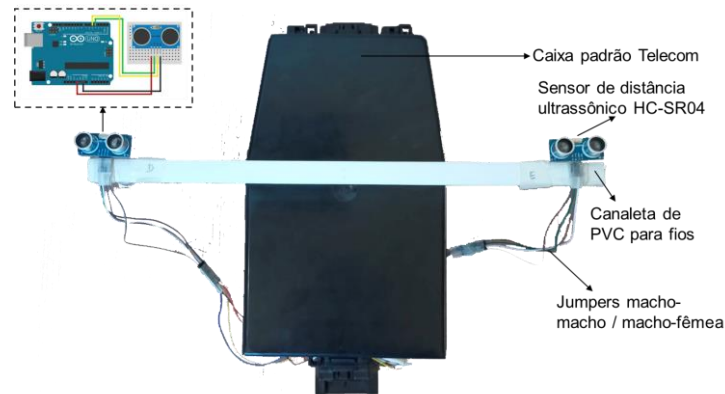


Figura 2. Montagem do protótipo físico e conexões externas. Fonte: autores, 2023.

Em relação à linguagem de programação, utilizou-se o software Arduino IDE 2.1.0 (Integrated Development Environment), plataforma onde foi realizada a programação dos códigos. Foram instaladas cinco bibliotecas: (1) “Ultrasonic.h”, (2) “SD.h”, (3) “SPI.h”, (4) Wire.h”, e (5) “RTClib.h”. Destas, a primeira refere-se ao módulo do sensor ultrassônico, as bibliotecas 2 e 3 ao módulo SD card e as bibliotecas 4 e 5 ao módulo real time clock.

Após a inserção das bibliotecas, foram definidos os pinos digitais para os dois sensores ultrassônicos, diferenciados pelos pinos trig (envia) e echo (recebe). Além disso, foi incluído uma variável referente a faixa de detecção de um obstáculo, calibrada a partir do dimensionamento da calçada.

No cálculo da faixa de detecção de um obstáculo considerou-se uma zona morta, trecho em que o sensor não faz medições de forma confiável. No estudo considerou-se o valor de + 40 cm e - 40 cm do total da largura da calçada.

Por fim, os dados coletados no cartão de memória foram configurados com as seguintes informações de saída: “esq; 27/7/2023; 10:28:20”. Ou seja, são registrados três dados principais: a identificação do sensor ativado (sentido do fluxo nas calçadas) e informações de data e hora. A figura 03 mostra a interface do ambiente de desenvolvimento no software Arduino IDE 2.1.0 e um exemplo dos dados salvos no cartão de memória.

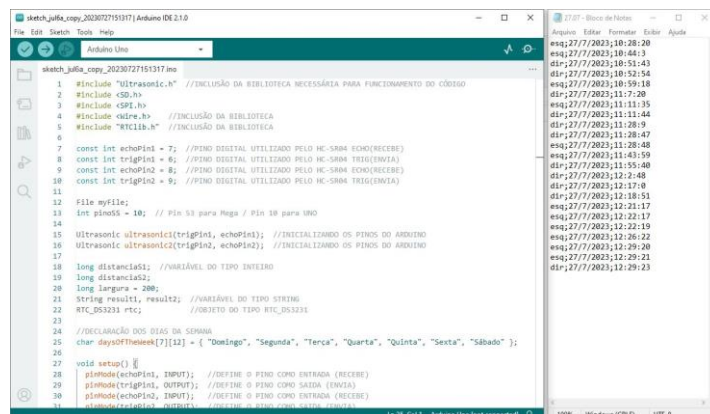


Figura 3. Ambiente de desenvolvimento no software Arduino IDE 2.1.0. Dados coletados em arquivo TXT. Fonte: autores, 2023.

## 2.2 Definição dos pontos de medição e coleta de dados

Na primeira versão do protótipo foram selecionados três pontos de coleta em três padrões de ocupação diferentes. Os critérios de seleção da amostra envolveram: diferentes tipologias de vias, densidade urbana populacional e uso do solo.

Com isso, definiu-se como recorte um bairro da cidade de Florianópolis que contemplou os critérios elencados. Foi selecionado para o estudo o bairro Córrego Grande em três pontos de medição:

1. Rua João Pio: via urbana, uso misto e densidade média;
2. Rua Prof. Marcos Cardoso Filho: via arterial, uso predominantemente residencial e densidade baixa;
3. Servidão Dorval Manoel Bento: via local, uso residencial e densidade baixa.

Na figura 04 são apresentados os pontos de coleta no bairro Córrego Grande, Florianópolis, SC.



Figura 4. Localização dos pontos de coleta no bairro Córrego Grande, Florianópolis, SC. Fonte: adaptado Google Earth, 2023.

O período de coleta para cada uma das tipologias viárias foi de um dia, durante três horas, das 10h30 às 13h30 em dias de semana, considerando o período de maior movimentação de pessoas. Os dados coletados foram computados pelo protótipo, salvos em arquivo TXT e tratados na plataforma de modelagem paramétrica Grasshopper.

### 3 Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados preliminares da primeira versão do protótipo de gêmeo digital para caminhabilidade. A partir da coleta de dados nos três pontos de medição foi possível identificar alguns padrões e inconsistências na leitura dos sensores.

Durante a coleta foram observadas algumas situações que requerem maior calibração e testes para confiabilidade dos dados. Um exemplo são os diferentes padrões de passagem nas calçadas, ilustradas na figura 05.



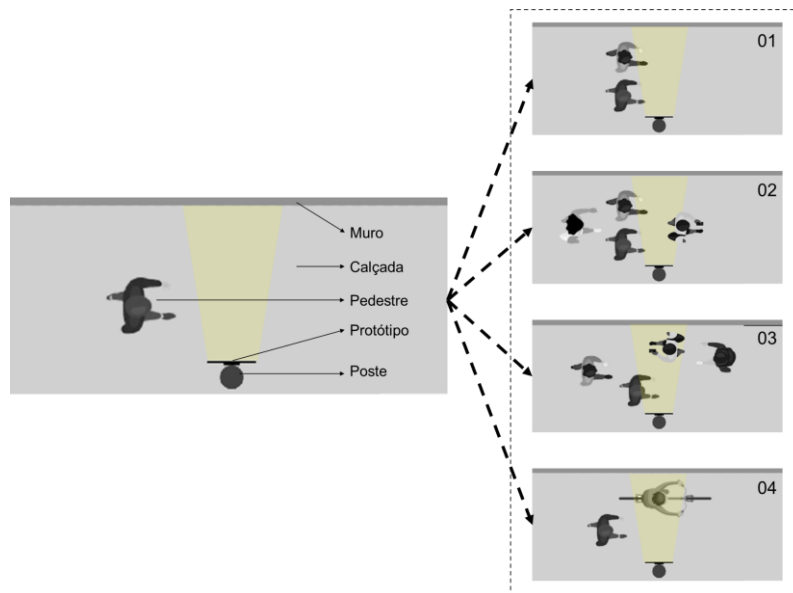


Figura 5. Diferentes padrões de passagem nas calçadas. Fonte: autores, 2023.

A partir do comparativo da contagem do volume de pessoas pelos sensores e pela observação e registro manual, verificou-se algumas situações que necessitam de maior calibração, são exemplos: (1) pedestres caminhando lado a lado, (2) grupo de pessoas no mesmo sentido de tráfego, (3) grupo de pessoas em ambos os sentidos de tráfego, e (4) passagem de ciclistas, conforme ilustrado pela figura 05.

Além dos diferentes padrões de passagem nas calçadas, observou-se que a rugosidade das superfícies também interfere na leitura dos sensores. O protótipo foi concebido para fixação em postes voltados para muros ou paredes, fato que acabou limitando as opções de pontos de coleta.

Testes em diferentes superfícies de muros e paredes confirmaram a recomendação de Pepperl+Fuchs (2017) de que as superfícies planas e lisas em ângulos retos são as que produzem reflexos ideais. A partir disso, concluiu-se que muros e/ou paredes de pedra ou com superfícies irregulares devem ser evitados em medições que utilizam sensores ultrassônicos.

Os dados computados pelo protótipo foram tratados na plataforma de modelagem paramétrica Grasshopper e os resultados preliminares podem ser observados na figura 06, que mostra: (1) visualização de dados preliminar; (2) componentes para dados espaciais em formato shapefile; (3) componentes para importar arquivo csv com dados coletados e, (4) componentes para geração da visualização dos dados.

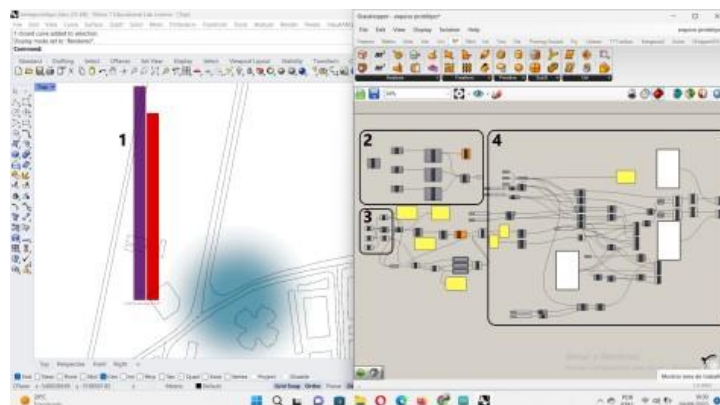


Figura 6. Processamento dos dados coletados na plataforma Grasshopper. Fonte: autores, 2023.

Na figura 07 estão representados: (1) gráfico com a soma total de passagens por minuto e a (2) definição criada a partir do plug-in para Grasshopper Human UI.

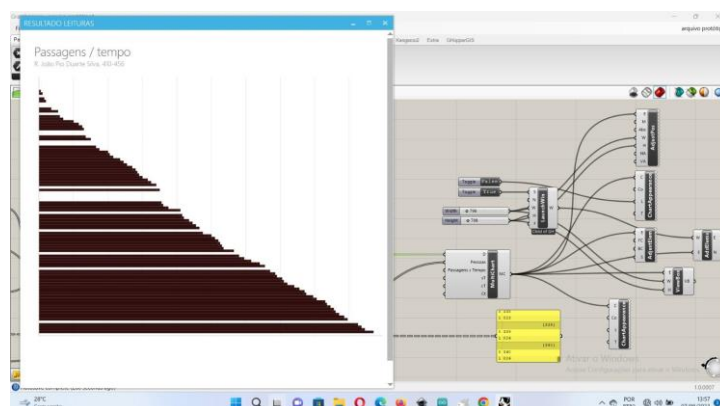


Figura 7. Representação da soma total de passagens por minuto. Fonte: autores, 2023.

## 4 Resultados

O processo de desenvolvimento do protótipo físico de gêmeo digital para caminhabilidade, em sua primeira versão, permitiu compreender as potencialidades e limitações do uso de sensores ultrassônicos. As calibrações

e testes realizados durante esse processo forneceram informações importantes para melhoria e continuidade da presente pesquisa.

De modo geral, os módulos e dispositivos utilizados se mostraram adequados para atingir os objetivos propostos, porém, durante os testes verificou-se a necessidade de alguns ajustes e modificações.

Um exemplo é a forma de fixação do protótipo, que acabou ficando limitada à existência de postes voltados para muros e/ou paredes com superfícies lisas e uniformes. Numa segunda versão do protótipo, será testado uma nova forma de fixação em formato de tripé, com o intuito de ampliar as possibilidades de pontos de coleta, conforme ilustra a figura 08.

Outro aspecto que requer revisão, diz respeito a calibração dos sensores para uma detecção mais apurada do volume e sentido do fluxo de pessoas nas calçadas. Para isso, em revisões futuras propõe-se a adição de um terceiro sensor ultrassônico HC-SR04 ao protótipo. Neste ajuste, os sensores existentes (laterais) registrarão o sentido do fluxo, enquanto o sensor central ficará a cargo da quantidade apurada de pessoas, conforme mostra a figura 09.

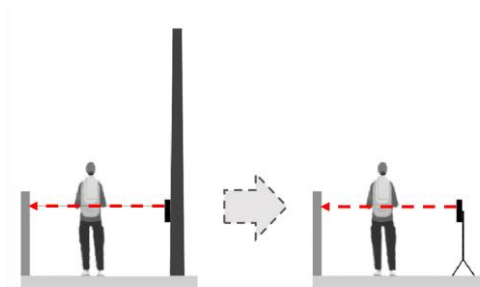


Figura 8. Exemplo de adaptação da fixação e posicionamento do protótipo em tripé para futuras medições. Fonte: autores, 2023.

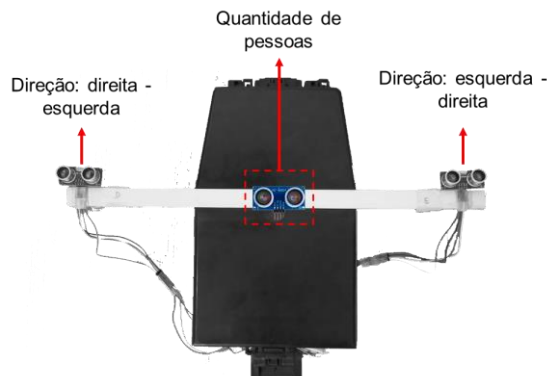


Figura 9. Esquema ilustrativo da adição de terceiro sensor ultrassônico HC-SR04 ao protótipo. Fonte: autores, 2023.

Os resultados preliminares demonstram que espaços que possuem diversidade de usos em sua configuração urbana apresentam melhores índices de caminhabilidade, característica que traz benefícios qualitativos ao espaço urbano, e consequentemente, contribui para a sustentabilidade das cidades. A próxima etapa da pesquisa envolverá o aprimoramento dos sensores, ampliação dos pontos de coleta de dados e desenvolvimento de parâmetros e interações para processamento dos dados na plataforma Grasshopper.

**Agradecimentos.** Os autores agradecem ao CNPQ pelo apoio à pesquisa a partir do financiamento mediante projeto universal e a FAPESC a partir do financiamento por meio do Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação aos Grupos de Pesquisa da Universidade Federal de Santa Catarina.

## Referências

- Dembski, F. et al. (2020). Urban digital twins for smart cities and citizens: the case study of Herrenberg, Germany. *Sustainability*, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 2307. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su12062307>.
- Dembski, F.; Wossner, U.; Yamu, C. (2019). Digital twin, virtual reality and space syntax: civic engagement and decision support for smart, sustainable cities. In *proceedings of the 12th international space syntax conference*, Beijing, China, pp. 316:1-316:13.
- Dovey, K., & Pafka, E. (2020) What is walkability? The urban DMA. *Urban Studies*, 57(1), 93–108. <https://doi.org/10.1177/0042098018819727>.
- Gehl, J. (2006). *La humanización del espacio urbano. La vida social entre los edificios*. Barcelona: Editorial Reverté, S.A.
- Gehl, J. (2010). *Cities for People*. Island Press.
- Jacobs, J. (1961). *The death and life of great American cities*. Random House: Nova York.
- Marshall, S. (2005). *Streets & Patterns*. Spon Press: London and New York.
- Pepperl+Fuchs. (2017). *Technology guide: ultrasonics* by Pepperl+Fuchs. Pepperl+Fuchs SE: Mannheim.
- Sim, D. (2019). *Soft city: building density for everyday life*. Island Press.
- Santiago et al. (2015). Centro histórico de Florianópolis: um olhar sobre a forma urbana e a apropriação. X Colóquio QUASÁ-SEL Produção e apropriação dos espaços livres e da forma urbana, Brasília.