



P R O A C

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO**

Bárbara Botelho Ferreira de Carvalho

Transformando a Mobilidade Urbana: O Potencial das novas Tecnologia de modelagem e simulação para Inclusão de Pessoas com Deficiência Visual

Juiz de Fora

2024



Bárbara Botelho Ferreira de Carvalho

Transformando a Mobilidade Urbana: O Potencial das novas Tecnologia de modelagem e simulação para Inclusão de Pessoas com Deficiência Visual

Dissertação apresentada ao PPG Ambiente Construído, Programa da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Ambiente Construído

Orientador: D. Sc., José Alberto Barroso Castañon

Coorientadora: D. Sc, Tatiana Tavares Rodriguez

Juiz de Fora

2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

de Carvalho, Barbara Botelho Ferreira.

Transformando a Mobilidade Urbana : o Potencial das novas Tecnologia de modelagem e simulação para Inclusão de Pessoas com Deficiência Visual / Barbara Botelho Ferreira de Carvalho. -- 2024.

82 p. : il.

Orientador: José Alberto Barroso Castañon

Coorientadora: Tatiana Tavares Rodriguez

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, ICÉ/Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, 2024.

1. Metaverso. 2. Mobilidade Urbana. 3. Deficiente Visual. I. Castañon, José Alberto Barroso , orient. II. Rodriguez, Tatiana Tavares , coorient. III. Título.

Bárbara Botelho Ferreira de Carvalho

Transformando a Mobilidade Urbana: O Potencial das novas Tecnologia de modelagem e simulação para Inclusão de Pessoas com Deficiência Visual

Dissertação apresentada ao PPG Ambiente Construído, Programa da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Ambiente Construído

Aprovada em 30 de agosto de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof Dr José Alberto Barroso Castañon - Orientador e Presidente da banca
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof(a) Dr(a) Tatiana Tavares Rodriguez - Coorientadora
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof Dr Marcos Martins Borges - Membro titular interno
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr(a) Bárbara Arantes de Paula - Membro titular externo
Hanyang University

Juiz de Fora, 28/08/2024.



Documento assinado eletronicamente por **Bárbara Arantes de Paula, Usuário Externo**, em 29/11/2024, às 09:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Tatiana Tavares Rodriguez, Professor(a)**, em 03/12/2024, às 09:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose Alberto Barroso Castanon, Coordenador(a)**, em 17/12/2024, às 10:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Martins Borges, Professor(a)**, em 17/12/2024, às 11:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1952615** e o código CRC **AECD279F**.



P R O A C

Dedico este trabalho aos meus amados filhos, Gregório e Iolanda,
Por serem minha principal fonte de motivação e inspiração. Espero que a dedicação ao conhecimento e ao desenvolvimento pessoal que busco compartilhar com vocês inspire suas próprias trajetórias. Com todo o meu amor.

Agradecimento

Gostaria de manifestar meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus familiares, especialmente minha mãe Gladys, meu marido Marco Aurélio e meu filhos Gregório e Iolanda, pelo amor, paciência e compreensão. Todo o apoio emocional e encorajamento recebido de vocês foram importantes para enfrentar os desafios dessa jornada.

Ao meu orientador, professor José Alberto Barroso Castañon, pelo apoio e incentivo ao longo deste percurso.

À minha coorientadora, professora Tatiana Tavares Rodriguez, suas contribuições foram essenciais para a conclusão desta pesquisa.

Sou grata a amiga Roberta, pelo suporte e pela troca de ideias, que foram fundamentais durante a fase de desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço a Universidade Federal de Juiz de Fora e ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído pela oportunidade de desenvolvimento acadêmico.



A tecnologia não deve ser um fim em si mesma na arquitetura, mas uma ferramenta que amplifica nossa capacidade de criar espaços mais humanos e sustentáveis.

ZAHA HADID

RESUMO

A mobilidade urbana é fundamental para a qualidade de vida nas cidades, impactando o dia a dia das pessoas. Contudo, o crescimento da demanda por transporte requer a transformação dos modos de transporte urbano. Tecnologias emergentes, como realidade virtual (VR), realidade aumentada (AR) e metaverso, têm potencial para influenciar positivamente a mobilidade urbana em diversos aspectos, como simulação e planejamento urbano, descentralização e teletrabalho, e realidade aumentada e navegação inteligente. Apesar do potencial impacto positivo, é necessário aprofundar os estudos sobre o uso dessas tecnologias na mobilidade urbana, com atenção especial à acessibilidade e inclusão para pessoas com deficiência (PcDs). O metaverso pode oferecer novas formas de proporcionar uma experiência realista para a mobilidade urbana, com foco na inclusão e na acessibilidade, especialmente para deficientes visuais. O presente trabalho tem como objetivo geral analisar como o metaverso pode contribuir para a mobilidade urbana quando se trata do deslocamento de pessoas com deficiência visual. Para tanto foi feita a pesquisa no ambiente urbano com a aplicação do Simulador de Mobilidade Urbana (SUMO) com o metaverso para analisar como este pode contribuir para a tomada de decisões em projetos de sistemas urbano. As análises indicaram que aprimorar a mobilidade urbana é fundamental para melhorar a vida nas cidades e influenciar o dia a dia das pessoas. Tecnologias emergentes, como realidade virtual, realidade aumentada e metaverso, têm o potencial de impactar positivamente a mobilidade urbana, incluindo simulação e planejamento urbano, deslocamento remoto e navegação inteligente. No entanto, é necessário priorizar pesquisas sobre acessibilidade e inclusão para pessoas com deficiência visual, visando garantir a equidade no acesso e participação nas atividades urbanas.

Palavras-chave: Metaverso. Mobilidade Urbana. Deficiente Visual.

ABSTRACT

Urban mobility is essential for the quality of life in cities, impacting people's daily lives. However, the growth in demand for transportation requires the transformation of urban transportation modes. Emerging technologies, such as virtual reality (VR), augmented reality (AR), and the metaverse, have the potential to positively influence urban mobility in several aspects, such as urban simulation and planning, decentralization and teleworking, and augmented reality and smart navigation. Despite the potential positive impact, it is necessary to deepen studies on the use of these technologies in urban mobility, with special attention to accessibility and inclusion for people with disabilities (PwDs). The metaverse can offer new ways to provide a realistic experience for urban mobility, with a focus on inclusion and accessibility, especially for the visually impaired. The present work has the general objective of analyzing how the metaverse can contribute to urban mobility when it comes to the movement of people with visual impairments. To this end, research was carried out in the urban environment with the application of the Urban Mobility Simulator (SUMO) with the metaverse to analyze how it can contribute to decision-making in urban system projects. The analyses indicated that improving urban mobility is essential to improving city life and influencing people's daily lives. Emerging technologies such as virtual reality, augmented reality and the metaverse have the potential to positively impact urban mobility, including urban simulation and planning, remote commuting and smart navigation. However, it is necessary to prioritize research on accessibility and inclusion for people with visual impairments, aiming to ensure equity in access and participation in urban activities.

Keywords: Metaverse. Urban mobility. Visually impaired.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Níveis de detalhamento dos modelos de simulação	34
Figura 2 –	As camadas do Metaverso	42
Figura 3 –	Mapa deslocamento entre Associação dos Cegos e Hemocentro Regional	49
Figura 4 –	Fachada Associação dos Cegos 2024	50
Figura 5 –	Fachada Hemocentro Regional 2024	50
Figura 6 –	Variação calçada Trecho Avenida Andradas	51
Figura 7 –	Variação calçada Trecho Avenida Andradas	51
Figura 8 –	Entrada da Associação dos Cegos em Juiz de Fora	52
Figura 9 –	Interface no Autocad Versão 2024	55
Figura 10 –	Foto da modelagem do SketchUp Pro 2023	56
Figura 11 –	Foto da modelagem do Unity Hub 3.8.0	57
Figura 12 –	Arquitetura de comunicação entre aplicação externa e SUMO via TraCI	58
Figura 13 –	Calçada Padronizada com largura acima de 2,50m (dois metros e cinquenta centímetros)	61
Figura 14 –	Calçada Padronizada rebaixamento de calçadas equivalente a faixa de pedestre	62
Figura 15 –	Calçada Padronizada rampa rebaixada com largura de 1,50m (um metro e cinquenta centímetros)	63
Figura 16 –	Calçada Padronizada rampa rebaixada com sinalização alerta e direcional contornando a borda externa	64
Figura 17 –	Interface Python 3.12.....	66
Figura 18 –	Comunicação em tempo real entre o SUMO/UNITY 3D	67

LISTA TABELAS

Tabela 1 -	Classificação de Deficiência Visual	26
Tabela 2 -	Categorias de deficiência visual segundo a 11 ^a Revisão da Classificação Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde.....	28
Tabela 3 -	Distúrbios relacionados à visão, suas características e os impactos ao usuário	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACJF	Associação dos Cegos de Juiz de Fora
AR	Realidade Aumentada
Art.	Artigo
AV	Ambiente Virtual
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CO ²	Dióxido De Carbono
DLR	Sistemas de Transportes do Centro Aeroespacial Alemão
FBX	Autodesk Filmbox
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IP	Protocolo de Internet
MDV3D	Mundos Digitais Virtuais em 3D
MG	Minas Gerais
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NFTs	Non-Fungible Token
OMS	Organização Mundial da Saúde
PcDs	Pessoas Com Deficiência
PJF	Prefeitura de Juiz de Fora
PLANMOB-JF	Plano de Mobilidade Urbana de Juiz de Fora
PMU	Plano de Mobilidade Urbana
SUMO	Simulador de Mobilidade Urbana (Simulation of Urban MObility)
TCP	Protocolo de Controle de Transmissão
TraCI	Traffic Control Interface
VR	Realidade Virtual
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	15
1.2	Estrutura da dissertação.....	16
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1	Acessibilidade no espaço público	18
2.1.1	Legislação e Normas.....	20
2.2	Deficiência visual e suas implicações na mobilidade.....	23
2.2.1	Tipos de deficiência visual	24
2.2.2	Desafios da mobilidade para pessoas com deficiência visual	31
2.3	Tecnologia de modelagem e simulação de espaços público	33
2.3.1	Ferramentas e softwares de modelagem	36
2.3.2	Aplicações em Projetos de Acessibilidade	47
2.4	Estudos anteriores e tendências	47
3	METODOLOGIA	49
3.1	Abordagem da Pesquisa	49
3.2	Seleção e descrição dos softwares de modelagem	53
3.3	Procedimento de Simulação e Avaliação	58
3.4	Critério de Análise da acessibilidade	59
3.5	Coleta e análise de dados.....	64
3.6	Limitações e Delimitações.....	65
4	DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	66
4.1	Configuração dos cenários de simulação.....	66
4.2	Processos de simulação e Resultados Preliminares.....	68
4.3	Análise de Dados obtidos.....	69
5	DISCUSSÃO	70
5.1	Interpretação dos resultados	70
5.2	Eficácia dos softwares e metodologia.....	71

5.3	Limitações dos softwares e metodologia.....	71
5.4	Implicações para o Design de espaços públicos	72
5.5	Recomendações para futuras pesquisas	72
6	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS.....	75
	ANEXO.....	82

1. INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana refere-se à infraestrutura e aos sistemas de transporte de uma cidade que possibilita o deslocamento eficiente e acessível de pessoas e bens dentro do espaço urbano. Esse deslocamento pode ocorrer tanto de forma coletiva quanto individual, com o propósito de promover oportunidades sociais, econômicas e culturais, ao mesmo tempo em que busca reduzir os impactos ambientais negativos (Dieleman, 2018).

Quanto maior a mobilidade em uma localidade, mais fácil se torna o deslocamento entre diferentes pontos, isso resulta maior eficiência e melhora a qualidade de vida, reduzindo o estresse associado a fatores como longos períodos no trânsito ou dificuldades no transporte público. A mobilidade urbana impacta todas as pessoas que vivem na cidade, relacionando-se diretamente com o cotidiano da população (Martins, 2023).

No entanto, um aspecto da mobilidade urbana permanece - e continuará a ser - constante: a extrema importância e a presença significativa da mobilidade na vida dos residentes de áreas urbanas. Projeções indicam que a demanda mundial por transporte mais que dobrará até o ano de 2050. Ademais, a transformação dos modos de transporte urbano em um sistema com as menores taxas possíveis de emissões de dióxido de carbono (CO²) é inevitável para assegurar a plena locomoção das pessoas nos espaços urbanos (Savino, 2020).

Nesse contexto, trabalhos como Batty (2018), Gordon (2008) e Savino (2020) investigam sobre como tecnologias emergentes, como realidade virtual (VR), realidade aumentada (AR) e plataformas de metaverso têm o potencial de impactar a mobilidade urbana. Alguns campos de estudo e benefícios potenciais incluem: simulação e planejamento urbano; descentralização e teletrabalho; e realidade aumentada e navegação inteligente.

Com relação à simulação e planejamento urbano, plataformas de metaverso poderiam ser utilizadas para simular cenários de mobilidade urbana, permitindo que planejadores urbanos testem diferentes infraestruturas e políticas de transporte antes de implementá-las na vida real (Gordon, 2008).

Quanto à descentralização e teletrabalho, a capacidade de interações virtuais mais sofisticadas, onde a tecnologia permita mecanismos para transportar o usuário para o universo digital em experiências totalmente imersivas, interativas e com alto

grau de realismo, poderia reduzir a necessidade de deslocamentos diários para o trabalho, potencialmente diminuindo o congestionamento urbano e a demanda por transporte público (Batty , 2018).

No que diz respeito à realidade aumentada e navegação inteligente, dispositivos de realidade aumentada (AR) integrados ao metaverso poderiam fornecer informações em tempo real sobre rotas, condições de tráfego e opções de transporte, melhorando a eficiência da navegação urbana (Savino, 2020).

Apesar das indicações sobre a aplicação do metaverso na mobilidade urbana, observa-se a necessidade de aprofundar os estudos que investiguem, de maneira específica e detalhada, como o metaverso pode contribuir para esse setor.

Um ponto a ser levantando é o conceito de metaverso. O termo Metaverso foi utilizado inicialmente em 1992 no livro de ficção *Snow Crash* de Neal Stephenson, onde avatares realistas interagiam em espaços virtuais tridimensionais. A ideia por trás do metaverso é criar um espaço virtual altamente imersivo e interconectado, que transcende as limitações físicas do mundo real (Andrade *et al.*, 2023). Godoy (2022) define metaverso como um espaço coletivo, compartilhando composto de realidade virtual aumentada, inteligência artificial (IA) e Internet, onde pode-se replicar a realidade por meios de dispositivos digitais, proporcionando novas formas de ensinar, aprender, trabalhar, socializar e se divertir. Em outras palavras, o metaverso pode ser considerado como a base dos mundos digitais virtuais 3D, ou seja, uma plataforma para a criação de estratégias para o uso de Mundos Digitais Virtuais em 3D (MDV3D) (Ferri, Mantovani, 2011).

No ambiente das cidades, o metaverso está sendo associado aos “digital twins”, ou gêmeos digitais, que são representações virtuais de objetos e sistemas que existem na vida real, o que pode ampliar a capacidade de planejamento e análise de informações para a cidade física em tempo real. Ao acrescentar a interatividade, os projetos podem deixar de ser apenas um local de planejamento e virar um ativo para os moradores da cidade (Lei et al, 2023).

Uma linha de análise relevante para a sociedade é a avaliação da acessibilidade e inclusão para pessoas com deficiência (PcDs) visto que estes são os fatores que interfere no cotidiano destas pessoas. Conforme Azevedo (2020), a acessibilidade é a razão para garantir as condições de direito à cidade e à mobilidade, redigidas no Estatuto da Cidade que estabelece normas de ordem pública e interesse social, fazendo com que o planejamento urbano possa atender a demanda de

crescimento com regulamentação das infraestruturas e dos serviços públicos indispensáveis ao atendimento da nova demanda (Azevedo, 2020).

Valores como acessibilidade e inclusão, embora interligados, possuem significados distintos. A inclusão requer a oferta de acessibilidade. Tornar algo acessível significa garantir que as PcDs possam acessar serviços e participar socialmente de maneira autônoma e independente. Essa acessibilidade deve ser ampliada para o ambiente virtual, além dos espaços físicos (Blum, 2022).

O deficiente visual necessita de recursos específicos para sua mobilidade e acessibilidade, para facilitar sua locomoção (David; Antunes; Gurgel, 2009). O sistema visual é que determina a velocidade da caminhada, e orienta o movimento corporal relativo ao ambiente. No caso dos deficientes visuais, além de ajuda da bengala, este necessita de identificadores para detectar os objetos e obstáculos no caminho, orientando quanto à tomada de decisão sobre o passo seguinte (Martins, 2023).

No caso específico dos deficientes visuais tem-se por hipótese, que os simuladores permitem analisar e propor diversas alternativas de experimentação com o foco de reproduzir uma sequência de eventos hipotéticos, avaliando e simulando as operações de sistemas urbanos voltados para este público. Para tanto pode associar o metaverso, que é um ambiente virtual que melhora a experiência trazendo a simulação para o tempo real, ganhando vida, mediante a integração perfeita entre diversas tecnologias e dispositivos envolvendo realidade virtual.

1.1 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar como o metaverso, em integração com ferramentas de simulação urbana, para promover a mobilidade urbana inclusiva, com foco na acessibilidade e autonomia de pessoas com deficiência visual, contribuindo para o planejamento e a melhoria de sistemas urbanos.

Como objetivos específicos têm-se:

- Desenvolver cenários experimentais utilizando o Simulador de Mobilidade Urbana (SUMO) integrados ao metaverso, visando identificar barreiras e oportunidades para a mobilidade de pessoas com deficiência visual.

- Avaliar o impacto das tecnologias emergentes, como realidade aumentada e realidade virtual, na simulação e otimização de ambientes urbanos acessíveis para deficientes visuais.
- Investigar as principais dificuldades enfrentadas por pessoas com deficiência visual em contextos urbanos e correlacioná-las às potencialidades das simulações virtuais para o planejamento inclusivo.
- Propor critérios de análise que incorporem acessibilidade e inclusão como parâmetros centrais na modelagem de sistemas de transporte e espaços públicos urbanos.
- Apresentar recomendações práticas e metodológicas para o uso de tecnologias digitais no desenvolvimento de políticas públicas que garantam equidade e inclusão na mobilidade urbana.

Dessa forma, os objetivos delineados visam estruturar uma análise abrangente e criteriosa sobre a contribuição das tecnologias emergentes, com destaque para o metaverso e ferramentas de simulação, na promoção de uma mobilidade urbana mais inclusiva e acessível. Por meio dessa abordagem, busca-se não apenas compreender as barreiras enfrentadas por pessoas com deficiência visual, mas também propor soluções inovadoras que influenciem o planejamento urbano e fortaleçam políticas públicas orientadas à equidade e inclusão social.

1.2 Estrutura da dissertação

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos, organizados de forma a proporcionar uma análise detalhada e sistemática do tema. O capítulo 1 consiste na Introdução, onde são apresentados o problema a ser investigado, os objetivos do estudo e a justificativa para sua realização. O capítulo 2 aborda a acessibilidade no espaço público, contemplando legislações e normas aplicáveis, além de discutir as implicações da deficiência visual na mobilidade urbana. Esse capítulo também explora os tipos de deficiência visual, os desafios enfrentados por pessoas com essa condição e a relevância das tecnologias de simulação em projetos de acessibilidade. O capítulo 3 detalha os materiais e métodos utilizados na pesquisa, oferecendo uma visão clara da abordagem metodológica adotada. O capítulo 4 apresenta o desenvolvimento e a aplicação da metodologia proposta, descrevendo os processos realizados e os

cenários analisados. No capítulo 5, são discutidos os resultados obtidos, com foco na interpretação dos dados e nas implicações para o planejamento urbano inclusivo. Finalmente, o capítulo 6 apresenta as principais conclusões do estudo, sintetizando as contribuições realizadas e indicando direções para futuras pesquisas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A metodologia empregada neste estudo compreende uma revisão bibliográfica sobre os temas "mobilidade urbana", "deficiência visual", "simulação" e "metaverso", abrangendo artigos científicos, relatórios técnicos e publicações pertinentes.

A fundamentação teórica que abordou sobre o metaverso e tem como base artigos científico da tecnologia da informação e mobilidade urbana, sendo que estes passam a estar integrados para projeções em ambientes virtuais. As cidades foram criadas para maximizar a troca de bens, serviços, cultura e conhecimentos entre seus habitantes. A mobilidade urbana permite que as pessoas se desloquem com facilidade. Para isso, é necessário planejar cidades que priorizem áreas de pedestres, promovendo cidades seguras, sustentáveis e saudáveis. A vitalidade, segurança, sustentabilidade e saúde são objetivos essenciais para priorizar os pedestres, convidando à circulação e à vida urbana (Felipe; Baptista, 2016).

Pessoas com deficiência visual enfrentam vários desafios ao se locomoverem em ambientes urbanos, como a falta de sinalização adequada, obstáculos físicos e dificuldades para atravessar ruas movimentadas. A simulação desses cenários pode identificar pontos críticos para auxiliar nas melhorias. Foram abordados temas e estudos sobre: Acessibilidade no espaço público, Deficiência Visual e suas implicações na mobilidade e Tecnologia de modelagem e simulação de espaços públicos.

2.1 Acessibilidade no espaço público

A mobilidade urbana refere-se ao deslocamento dentro das cidades, abrangendo o uso de transporte público, como ônibus, metrô e trem, veículos particulares, bicicletas e deslocamento a pé. Denota-se às condições que facilitam o fluxo de pessoas, mercadorias e cargas, considerando a infraestrutura existente e as regulamentações em vigor. Nos grandes centros urbanos, o entendimento da mobilidade urbana tornou-se um desafio devido ao rápido crescimento das áreas urbanas e do número de veículos, o que contrasta com a baixa qualidade do transporte público e das vias. Garantir a mobilidade é essencial para melhorar o tráfego, a acessibilidade e, conseqüentemente, a qualidade de vida dos cidadãos de uma

cidade. O pedestre desempenha um papel central na mobilidade urbana, conforme pontua Veloso (2021, p. 22).

O pedestre é o grande protagonista do espaço público urbano: é ele que o vivência, que o percebe e que o torna possível de vitalidade. Sem o pedestre tais espaços estão fadados à morte, a se tornarem tão apenas locais de passagem, imperceptíveis aos olhos daqueles que se deslocam motorizados; inóspitos. Há de existir uma relação de troca, onde as amenidades do espaço público convidem o pedestre a ser o seu protagonista.

O ato de caminhar desempenha um papel fundamental na mobilidade urbana, pois não apenas complementa a maioria dos deslocamentos realizados, mas também é intrinsecamente ligada ao uso de veículos motorizados. Em muitos casos, independentemente do meio de transporte utilizado, existe a necessidade de percorrer a parte final do trajeto a pé. Assim, a caminhada não apenas facilita a conexão entre diferentes modos de transporte, mas também contribui para a eficiência e a sustentabilidade do sistema de mobilidade como um todo. No entanto, as grandes cidades estão cada vez mais expandindo seus centros urbanos, afastando-se da escala humana e se adaptando progressivamente à escala motorizada (Barros, 2014), o que impacta diretamente na mobilidade urbana, especialmente no ir e vir do pedestre.

Caminhar é uma forma de deslocamento autônomo e independente, sendo reconhecida como modo de transporte urbano pela Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU). O deslocamento a pé é considerado o meio de transporte mais simples, democrático, sustentável e econômico de se movimentar dentro de uma cidade. De acordo com uma pesquisa da Agência Nacional de Transporte Público (ANTP) realizada em 2018, cerca de dois terços dos deslocamentos diários nas cidades são realizados de maneira a incluir trechos a pé, sendo 41% desses deslocamentos feitos exclusivamente a pé e 28% utilizando transporte coletivo (Brasil, 2020), dado esse que demonstra a importância da caminhada como componente essencial na estrutura da mobilidade urbana, ressaltando a necessidade de considerar a acessibilidade e a infraestrutura adequada para os pedestres em qualquer planejamento urbano e de transporte.

Na modalidade, o deslocamento a pé é inclusivo, abrangendo todas as pessoas, incluindo aquelas que apresentam diferentes graus de dificuldade ou deficiência. Por este motivo as leis federais geralmente destacam a acessibilidade como o principal aspecto da mobilidade urbana, entendida como a condição essencial

para que todas as pessoas, inclusive aquelas com deficiência ou mobilidade reduzida, possam utilizar os espaços urbanos de forma autônoma e segura (Brasil, 2020).

Aguiar (2010, p.15) destaca que “a acessibilidade está relacionada à capacidade de se atingir um determinado lugar, enquanto a mobilidade refere-se à facilidade com que o deslocamento pode ser realizado” Nesse contexto, a mobilidade abrange diversos obstáculos que podem impactar a experiência do deslocamento, como calçadas irregulares, degraus, sinalização inadequada e, especialmente, a caminhada, que é uma forma essencial de locomoção. A modalidade de deslocamento a pé, está, portanto, intimamente ligada à acessibilidade, refletindo a capacidade de alcançar um destino com eficácia e segurança. Para os usuários com necessidade especiais, a disponibilidade de espaços que proporcionam maior facilidade de deslocamento é fundamental, pois não apenas facilita a mobilidade, mas também minimiza o esforço físico necessário, promovendo uma experiência mais inclusiva e digna para todos.

A acessibilidade no espaço público é um direito fundamental e um elemento necessário para a construção de cidades mais inclusivas e justas. Ela permite que todos os cidadãos, independentemente de suas habilidades físicas, possam usufruir da vida urbana, promovendo a igualdade de oportunidades e a participação social.

2.1.1 Legislação e Normas

No Brasil, a acessibilidade é regulamentada pela Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146/2015) e por normas técnicas como a Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 9050, que estabelece parâmetros para a construção de espaços acessíveis.

A Lei nº 13.146/2015, também conhecida como Estatuto da Pessoa com Deficiência ou Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (LBI), é um marco legal no Brasil que tem como objetivo garantir e promover, em condições de igualdade, os direitos e liberdades das pessoas com deficiência. Aprovada em 6 de julho de 2015, a lei entrou em vigor em 2016 e estabelece normas de inclusão social, cidadania plena e a autonomia dessas pessoas, eliminando barreiras que possam restringir sua participação na sociedade, permitindo direito em diversas áreas, como saúde, educação, trabalho, transporte, cultura, lazer e esporte.

Os fatores que mais interferem na mobilidade de pessoas são desvios nas calçadas, buracos, falta de nivelamento e objetos flutuantes, como lixeiras, sinais, placas, entre outros (Silva Júnior, 2020). Para evitar tais obstáculos, a NBR 9050 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (Brasil, 2020, p.15) “estabelece critérios e parâmetros técnicos a serem observados quanto ao projeto, construção, instalação e adaptação do meio urbano e rural, e de edificações quanto às condições de acessibilidade”, e visa garantir que todas as pessoas, incluindo aquelas com deficiência ou mobilidade reduzida, possam acessar, utilizar e se locomover com segurança e autonomia em ambientes públicos e privados.

Em Juiz de Fora, apesar do crescimento da cidade e da expansão da infraestrutura, ainda não existe uma política específica voltada para a melhoria da mobilidade urbana no que se refere à acessibilidade de pessoas com deficiência visual. O Plano de Mobilidade Urbana de Juiz de Fora (PLANMOB-JF, 2016) aborda a acessibilidade de forma limitada, concentrando-se predominantemente em cadeirantes, o que evidencia a ausência de medidas inclusivas para outros grupos com deficiência. O documento reconhece que “o centro de Juiz de Fora apresenta uma quantidade significativa de rampas de acessos aos passeios, mas ainda é insuficiente para garantir um deslocamento adequado para os cadeirantes” (Juiz de Fora, 2016, p. 53). Essa constatação reflete a carência de uma abordagem mais abrangente que atenda a diferentes necessidades, como as de pessoas com deficiência visual, para garantir uma mobilidade plena e inclusiva em todos os espaços urbanos. Tem-se como principal objetivo do PLANMOB-JF (2016) quanto a mobilidade urbana:

A mobilidade urbana é um atributo de Juiz de Fora que se refere à facilidade de deslocamentos de pessoas e bens no espaço urbano. Tais deslocamentos são feitos a pé ou por meio de veículos, motorizados ou não, utilizando-se de toda a infraestrutura (vias, calçadas, etc.) que possibilita o ir e vir cotidiano. Isso significa que a mobilidade urbana é mais do que o transporte urbano, ou seja, mais do que o conjunto de serviços e meios de deslocamento de pessoas e bens. É o resultado da interação entre os deslocamentos de pessoas e bens com a cidade. A disponibilidade de meios e infraestrutura adequados para os deslocamentos de pessoas e bens numa área da cidade podem ajudar a desenvolver essa área. Do mesmo modo, uma área que se desenvolve vai necessitar de meios e infraestrutura adequados para os deslocamentos das pessoas e bens naquele local (Juiz de Fora, 2016, p. 5).

A citação reforça a noção de que a mobilidade urbana transcende o simples ato de transportar pessoas e bens, sendo resultado de uma complexa interação entre infraestrutura e desenvolvimento urbano. No entanto, o caso de Juiz de Fora revela

uma lacuna crítica nesse processo: a falta de uma infraestrutura inclusiva e abrangente que atenda às necessidades de grupos diversos, como pessoas com deficiência visual. Embora o município reconheça a importância de uma infraestrutura adequada para fomentar o desenvolvimento, a ausência de políticas específicas para garantir a acessibilidade a todos os cidadãos evidencia um desequilíbrio que compromete a mobilidade plena. Isso demonstra a urgência de expandir o conceito de mobilidade para incorporar uma perspectiva verdadeiramente inclusiva, alinhada às demandas de uma cidade em crescimento.

Buscando contribuir para os andantes, a Prefeitura de Juiz de Fora, através do Decreto nº 11.342, de 21 de setembro de 2012, traz em seus art. 9º e 10 os seguintes parâmetros:

Art. 9: No planejamento e na urbanização das vias, praças, dos logradouros, parques e demais espaços de uso público, deverão ser observados os preceitos do desenho universal e cumpridos, quando houver viabilidade técnica, as exigências dispostas nas normas técnicas de acessibilidade da ABNT. [...] II - o rebaixamento de calçadas com rampas acessíveis ou elevação das vias para travessia de pedestres, em nível; III - a instalação de piso tátil direcional e de alerta. § 2º No caso de inviabilidade técnica manifestada, a mesma deverá ser atestada pela CPA.

Art. 10. Para fins de atendimento ao artigo anterior, na execução, na manutenção e na conservação dos passeios públicos ou calçadas, bem como na instalação de mobiliário urbano, e na execução de arborização, paisagismo e de quaisquer elementos e atividades que resultem em sua ocupação, devem ser cumpridas as seguintes exigências mínimas, de acordo com a viabilidade técnica do local, nos termos do § 2º do artigo anterior: I - as calçadas para circulação de pedestres terão largura mínima de 2,00m (dois metros), no entanto, deve-se garantir uma largura mínima de 1,20m (um metro e vinte centímetros) para faixa livre e o restante ficará reservado para faixa de serviço ou mobiliário urbano; (Anexo 01 / Desenho 01) II - as calçadas com largura de até 2,50m (dois metros e cinquenta centímetros) serão divididas em duas faixas: a faixa de serviço e a faixa livre.

A preocupação da Prefeitura de Juiz de Fora com a acessibilidade de pessoas com deficiência visual é evidenciada pela inclusão de diretrizes como as apresentadas nos artigos 9 e 10. Esses artigos estabelecem que, no planejamento de vias e espaços públicos, devem ser observados os preceitos do desenho universal e as normas técnicas da ABNT, priorizando o rebaixamento de calçadas com rampas acessíveis, a instalação de piso tátil direcional e de alerta, e a manutenção de uma largura mínima adequada para a circulação de pedestres. No entanto, a aplicabilidade dessas exigências ainda depende da viabilidade técnica do local, o que pode limitar sua implementação em alguns casos. Tais normas, apesar de serem um avanço

importante, ainda enfrentam desafios práticos que precisam ser superados para garantir que o deslocamento de pessoas com deficiência visual seja efetivamente favorecido e seguro.

2.2 Deficiência visual e suas Implicações na Mobilidade

A acessibilidade é uma necessidade que, em algum momento, atinge a todos, independentemente de uma deficiência permanente. Fatores como o envelhecimento natural ou condições temporárias podem comprometer a mobilidade e tornar essencial a existência de um ambiente acessível. Portanto, discutir a acessibilidade voltada para pessoas com deficiência visual não deve ser visto como um tema exclusivo a esse grupo, mas como uma medida que beneficia a sociedade como um todo, promovendo mais segurança e autonomia para todos os cidadãos. Entender as especificidades dos tipos de deficiência visual é um passo importante para compreender melhor as implicações dessa condição na mobilidade urbana e como as políticas públicas e o planejamento urbano podem se adaptar a essas necessidades.

São consideradas pessoas com deficiência aquelas que possuem quaisquer tipos de impedimento, seja de natureza física, mental, intelectual ou sensorial, o qual, em interação com uma ou mais barreiras, pode obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade em igualdade de condições com as demais pessoas. Entre as diferentes categorias de pessoas com deficiência, o indivíduo com deficiência visual assume o papel central nesta pesquisa, sendo o foco principal das análises e discussões.

A visão ocupa uma posição proeminente na hierarquia dos sentidos e contribui para a percepção de formas e imagens que ajudam a compor o ambiente em que o indivíduo se encontra (Rodrigues et al., 2021). Conforme divulgado pelo relatório mundial sobre visão, emitido pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 2019, estimou-se que havia aproximadamente 2,2 bilhões de pessoas com deficiência visual no mundo (WHO, 2019; Rodrigues, et al., 2021).

Dada a importância da visão para a percepção do ambiente e a quantidade significativa de pessoas afetadas por algum tipo de deficiência visual, torna-se necessário compreender os diferentes tipos dessa condição. A seguir, serão abordadas as categorias de deficiência visual e suas especificidades, a fim de aprofundar a análise sobre suas implicações na mobilidade urbana.

2.2.1 Tipos de Deficiência Visual

O sistema visual desempenha um papel importante na determinação da velocidade e na orientação do movimento corporal em relação ao ambiente. No entanto, sua eficácia depende da acuidade visual e das interferências ambientais como contraste, iluminação e distância dos objetos (Lage, et al, 2020). Essas variáveis se tornam ainda mais relevantes quando consideramos as diferentes formas de deficiência visual e suas implicações na percepção e interação com o ambiente.

A deficiência visual pode ser classificada em diferentes tipos, cada um apresentando características específicas que influenciam a forma como os indivíduos percebem e interagem com o ambiente. Essa categorização é fundamental para entender as diversas necessidades e desafios enfrentados por essas pessoas no dia a dia. De maneira geral, a deficiência visual pode ser classificada em três tipos principais, sendo um deles a baixa visão, que pode variar de leve, moderada a profunda. Essa condição pode ser compensada, em muitos casos, com o uso de lentes de aumento, lupas, bengalas e através de treinamentos de orientação e mobilidade, permitindo que o indivíduo desenvolva maior autonomia (Mendes; Gomes; Caporale., 2021).

Existe também a modalidade de deficiência visual próxima à cegueira, na qual a pessoa ainda consegue distinguir entre luz e sombra, mas já depende do sistema braile para leitura e escrita. Nesses casos, a percepção visual é extremamente limitada, exigindo o uso de ferramentas e técnicas adaptativas para garantir a comunicação e a interação com o ambiente, este nível de deficiência também se beneficia da utilização de recursos de voz para acessar programas de computador ou funções no aparelho celular, locomoção com o auxílio da bengala e carece de treinamentos de orientação e de mobilidade. No caso da cegueira total, o uso do sistema braile, da bengala e os treinamentos específicos tornam-se indispensáveis para garantir a independência e a segurança da pessoa cega em suas atividades diárias (Prates; Pessel, 2022).

O Decreto nº 3.298, de 20 de dezembro de 1999, estabelece critérios claros para a definição de deficiência visual, abordando tanto a cegueira quanto a baixa visão. Segundo o decreto: III - deficiência visual - cegueira, na qual a acuidade visual é igual ou menor que 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; a baixa visão, que significa acuidade visual entre 0,3 e 0,05

no melhor olho, com a melhor correção óptica; os casos nos quais a somatória da medida do campo visual em ambos os olhos for igual ou menor que 60°; ou a ocorrência simultânea de quaisquer das condições anteriores (Brasil, 1999).

A definição apresentada no Decreto nº 3.298 fornece uma base normativa essencial para compreender as diferentes formas de deficiência visual, destacando a cegueira e a baixa visão, que varia em grau e impacto funcional. Essa distinção é necessária, pois as intervenções e adaptações necessárias podem diferir significativamente, influenciando o impacto e a facilitação da locomoção da pessoa cega.

Conforme a Classificação Internacional de Doenças – 10ª edição (CID-10) são quatro os níveis de função visual, sendo estes: visão normal; deficiência visual moderada; deficiência visual grave; cegueira. Para a avaliação da deficiência visual, essa classificação utiliza duas escalas oftalmológicas: acuidade visual (a capacidade de identificar um objeto a uma distância específica) e campo visual (a extensão da área percebida pela visão). Consideram-se cegas não apenas as pessoas com perda total da visão, mas também aquelas cujo comprometimento visual torna inviável a realização de atividades cotidianas, mesmo com algum grau de visão residual. Os termos “cegueira legal” ou “cegueira parcial” são usados para descrever a deficiência visual em casos em que o indivíduo apresenta uma das duas condições:

- Acuidade visual corrigida de 20/400 ou menor no melhor olho; ou
- Campo visual com um diâmetro máximo inferior a 20 graus, mesmo que a acuidade visual nesse campo restrito seja superior a 20/400 (essa limitação é conhecida como “visão em túnel”).

Em 1972, o Grupo de Estudos da Prevenção da Cegueira, criado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), indicou a classificação da deficiência visual que continua sendo utilizada atualmente. Segundo essa definição, o termo “visão subnormal” refere-se às categorias 1 e 2 descritas na tabela abaixo, enquanto o termo “cegueira” corresponde às categorias 3, 4 e 5, além da “perda de visão sem qualificação” na categoria 9.

Tabela 1 – Classificação de Deficiência Visual

Acuidade visual com a melhor correção visual possível			
Categoria da deficiência visual		Máximo menos de:	Mínimo igual ou melhor que:
Visão Subnormal	1	20/70	20/200

		3/10 (0,3) 6/8 20/200	1/10 (0,1) 6/60 3/60
	2	1/10 (0,1) 6/60 20/400	1/20 (0,05) 20/400 1/60
	3	1/20 (0,05) 3/60 5/300 (20/1200)	1/50 (0,02) 5/300 (20/1200)
Cegueira	4	1/50 (0,02) 1/60	Percepção de luz
	5	Sem percepção de luz	
Perda de Visão sem Qualificação	9	Indeterminada ou não especificada	

Fonte: Umbelino (2023, p. 11).

* Ou contagem de dedos (CD) a 1 metro.

Segundo a Sociedade Brasileira de Visão Subnormal, embora a classificação da tabela acima ainda esteja em vigor, em 2003 a consultoria da OMS para a Padronização da Definição de Perda de Visão e Funcionamento Visual propôs uma atualização na definição de cegueira. A sugestão foi substituir o termo “melhor correção visual” por “melhor correção visual disponível”. Isso porque o critério de “melhor correção visual” no melhor olho estava ultrapassado, já que estudos recentes mostraram que ele excluía muitas pessoas com deficiência visual, inclusive cegueira, devido a erros de refração não corrigidos, uma situação frequente em várias partes do mundo. Cinco justificativas foram apresentados para essa mudança:

- a) Definição das categorias de deficiência visual baseada na “melhor correção visual possível”.
- b) Nomenclatura.
- c) Categorização da cegueira.
- d) Inconsistências nas subcategorias H54.
- e) Resolução do Conselho Internacional de Oftalmologia (ICO) para a revisão do CID-10.

Atualmente, o CID-10, ainda utilizado pelo Ministério da Saúde, emprega o termo “visão subnormal” para as categorias 1, 2 e 3 das deficiências visuais. No entanto, na prática de cuidados visuais, “visão subnormal” tem um significado específico, definido pela OMS como:

A pessoa com visão subnormal é aquela que possui uma deficiência da função visual mesmo após tratamento e/ou correção refrativa, com acuidade visual entre menos de 20/60 e percepção de luz, ou com um campo visual inferior a 10 graus de campo visual central, mas que utiliza ou pode potencialmente utilizar sua visão para planejar e/ou executar tarefas (Umbelino, 2023, p. 12)

Conforme Umbelino (2023) tal definição faz com que indivíduos que poderiam se beneficiar de tratamentos para baixa visão sejam atualmente classificados como cegos, o que leva a erros nas estimativas de pessoas que necessitam de intervenções específicas para visão subnormal.

A Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde (CID-11) categorizou deficiências visuais (com acuidade visual inferior a 6/12 no melhor olho) de forma mais rigorosa, reconhecendo evidências crescentes de que até mesmo leves reduções na acuidade visual impactam o funcionamento diário das pessoas. O CID-11 (Tabela 2), lançado pela OMS em 2018, está previsto para ser adotado no Brasil a partir de 1º de janeiro de 2025 (Umbelino, 2023).

Tabela 2 – Categorias de deficiência visual segundo a 11ª Revisão da Classificação Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde.

Categorias	Acuidade visual apresentada menor que	Acuidade visual apresentada igual ou maior que
0		20/70
Deficiência visual leve ou sem deficiência		3/10 (0.3) 6/18
1	20/70	20/200
Deficiência visual moderada	3/10 (0.3) 6/18	1/10 (0.1) 6/60
2	20/200	20/400
Deficiência visual severa	1/10 (0.1) 6/60	1/20 (0.05) 3/60
3	20/400	5/300 (20/1200)
Cegueira	1/20 (0.05) 3/60	1/50 (0.02) 1/60*
4	5/300 (20/1200) 1/50 (0.02) 1/60*	Percepção de luz
5		Sem Percepção de luz
Cegueira		
9		Indeterminada ou sem especificação

Fonte: Umbelino (2023, p. 11).

* Ou contagem de dedos (CD) a 1 metro.

O processo natural de envelhecimento também traz consigo uma série de alterações fisiológicas que impactam diretamente a visão. Essas alterações que ocorrem ao longo do envelhecimento podem interferir na acuidade visual dos idosos, conforme Lage et al. (2020, p. 57):

Inicialmente há uma diminuição da capacidade de acomodação ou focalização de objetos próximos e, com o passar dos anos, há um declínio do campo visual periférico, da sensibilidade ao contraste, da discriminação das cores, da capacidade no escuro e da noção de profundidade (Lage, *et al.*, p. 57).

Os graus de visão variam desde a cegueira total até a visão perfeita. O termo “deficiência visual” refere-se ao espectro que vai da cegueira à visão subnormal. A visão subnormal, ou baixa visão, resulta de uma capacidade funcional alterada por fatores como acuidade visual reduzida, campo visual limitado e sensibilidade aos contrastes diminuída (Gil, 2000).

Entre a visão perfeita e a cegueira estão patologias como miopia, estrabismo, astigmatismo, ambliopia e hipermetropia, que, embora não constituam necessariamente deficiência visual, devem ser tratadas na infância para evitar impactos no desenvolvimento e aprendizagem. Visão subnormal é definida como a

incapacidade de ver claramente a uma distância de 3 metros, à luz do dia, mas ainda mantendo algum resíduo de visão diminuída (Gil, 2000). O quadro 1 a seguir apresenta os distúrbios mais comuns relacionados à visão, suas características e os impactos ao usuário, conforme dados do Instituto Panamericano de Visão.

Tabela 3 - Distúrbios relacionados à visão, suas características e os impactos ao usuário:

Distúrbio	Características	Impactos ao Usuário
Visão subnormal	Perda de visão que não pode ser corrigida com óculos, lentes de contato ou cirurgia. Não é cegueira, mas a visão é muito limitada.	Dificuldade em realizar tarefas como ler, dirigir, reconhecer rostos, diferenciar cores e detalhes, ou assistir televisão com clareza.
Perda de visão central	Incapacidade de ver objetos na área central da visão.	Dificuldade para ler, reconhecer rostos, ou realizar atividades que exigem foco detalhado.
Perda de visão periférica	Incapacidade de ver objetos na periferia da visão (também conhecida como “visão de túnel”).	Risco aumentado de acidentes, dificuldade em se orientar e navegar no ambiente, e limitação para detectar movimentos laterais.
Cegueira noturna	Incapacidade de ver em ambientes com pouca luz.	Dificuldade em se deslocar ou dirigir durante a noite ou em locais mal iluminados.
Visão embaçada ou turva	Percepção visual com pouca nitidez e detalhes indefinidos.	Comprometimento na leitura, uso de telas, e em atividades que requerem precisão visual.
Cicatrizes na retina	Lesões na retina que afetam a qualidade da visão.	Visão limitada, podendo causar dificuldade em atividades diárias como leitura e identificação de detalhes.
Degeneração macular relacionada à idade (DMRI)	Desgaste da mácula que leva à perda progressiva da visão central.	Perda da capacidade de ler, dirigir, ou realizar tarefas que exigem visão detalhada.
Retinopatia diabética	Condição associada ao diabetes que pode causar danos nos vasos sanguíneos da retina, levando à perda de visão.	Visão embaçada, manchas ou áreas escuras na visão, e perda gradual da visão.
Glaucoma	Doença que danifica o nervo óptico e pode causar perda de visão periférica.	Visão em túnel, dificuldade para se locomover e maior risco de quedas ou acidentes.
Traumatas oculares	Lesões físicas nos olhos que podem levar a perda de visão.	Impactos variáveis, desde visão embaçada até perda severa de acuidade visual, dependendo da lesão.

Fonte: Elaborada pela autora (2024)

Essas deficiências podem ser categorizadas de diferentes maneiras, mas uma das classificações mais comuns inclui a cegueira congênita que está presente desde o nascimento, resultando em uma ausência completa de percepção visual. A pessoa que é cega congênita, por não poder contar com o sistema visual para as atividades diárias, por esse motivo é necessário que as organizações e a sociedade como um todo, organizem meios, inclusive de locomoção, para que o deficiente visual possa se locomover com facilidade (Keffer, Melo, Zattera, 2021).

Outro tipo de cegueira é a adquirida, ou seja, desenvolvida ao longo da vida devido a doenças, lesões ou condições degenerativas, resultando em uma perda total da visão. Tem-se também a baixa visão moderada onde a visão é significativamente prejudicada, mas ainda é possível distinguir formas e contornos. A leitura de textos grandes ou com a ajuda de dispositivos de aumento é possível. Outro tipo de deficiência visual é a baixa visão grave onde a visão é extremamente limitada. A pessoa pode ver luzes, sombras e formas grandes, mas a leitura e a navegação sem ajuda são muito difíceis. Cada tipo de deficiência visual exige abordagens específicas para suporte e intervenção, incluindo o uso de dispositivos assistivos, terapias e adaptações no ambiente para melhorar a qualidade de vida e a autonomia das pessoas afetadas (Keffer, Melo, Zattera, 2021).

A locomoção de pessoas que sofrem com algum tipo de deficiência visual depende de artefatos, como a bengala, que atua como um identificador, permitindo detectar objetos e obstáculos no caminho e, orientando a tomada de decisões sobre o próximo passo (Martins, 2023). Assim, os deficientes visuais, independentemente do grau da deficiência, necessitam de recursos para sua mobilidade, incluindo acessibilidade, que garante a facilidade de trânsito em espaços diversos, além do acompanhamento específico necessário para a pessoa cega em suas atividades cotidianas (David; Antunes; Gurgel, 2009).

As tabelas classificatórias de deficiência visual e doenças relacionadas à visão são ferramentas fundamentais para o diagnóstico, tratamento e formulação de políticas de saúde. Elas permitem uma distinção clara entre diferentes níveis de perda visual, como “visão subnormal” e cegueira, usando parâmetros como acuidade visual e campo visual. Essas classificações facilitam a padronização no reconhecimento das condições visuais e auxiliam na criação de estratégias de intervenção e suporte adequadas.

A transição da CID-10 para a CID-11 reflete um avanço significativo, ajustando a definição de deficiência visual para incluir critérios mais rigorosos e abrangentes. Isso é importante, pois novas evidências mostram que mesmo perdas visuais leves podem impactar a funcionalidade diária das pessoas. A atualização reconhece a necessidade de melhor precisão e inclusão, especialmente considerando que erros refrativos não corrigidos são uma realidade comum em várias regiões do mundo.

Essas classificações não apenas orientam o cuidado clínico, mas também ajudam a estimar a necessidade de recursos de saúde visual na população, promovendo um planejamento mais eficaz.

2.2.2 Desafios da mobilidade para pessoas com deficiência visual

A acessibilidade é experienciada pela facilidade com que um indivíduo realiza uma atividade desejada, no local de sua escolha, da maneira que prefere e no momento adequado (Bhat et al., 2000). Já a acessibilidade espacial é definida como a capacidade de qualquer pessoa acessar os locais desejados, utilizar equipamentos de uso público ou privado e participar das atividades realizadas nesses locais (Piardi et al, 2012).

A mobilidade para pessoas com deficiência visual enfrenta diversos desafios no ambiente urbano, que vão desde barreiras físicas até a falta de recursos tecnológicos adequados. Esses desafios comprometem a autonomia e a segurança dessas pessoas no dia a dia, limitando sua capacidade de se deslocar com independência e de acessar espaços.

A falta de infraestrutura urbana adequada, demarcada por calçadas irregulares, buracos, desníveis e obstáculos como postes, árvores e placas, além da ausência de rampas e guias rebaixadas dificulta a travessia e a circulação de pessoas cegas, especialmente em áreas com fluxo intenso de pedestres e veículos.

Os desafios enfrentados pelas pessoas com deficiência visual no ambiente urbano afetam diretamente sua segurança e autonomia, tornando atividades simples, como caminhar ou atravessar a rua, mais complexas e arriscadas. Alguns dos principais desafios são:

- a) Infraestrutura limitada: A falta de calçadas acessíveis, sem rampas adequadas, com buracos ou obstáculos, torna a locomoção insegura. Além disso, a

ausência de pisos táteis, orientações rebaixadas e sinalização adequada dificultam a navegação.

- b) Sinalização e orientação: Muitos sinais de trânsito não possuem recursos sonoros, o que impede que pessoas com deficiência visual identifiquem o momento certo para atravessar ruas movimentadas com segurança. Também há falta de pontos de orientação em locais públicos e de transportes que ajudem na localização.
- c) Transporte público: A acessibilidade nos sistemas de transporte público é muitas vezes limitada. Ônibus, metrô e trens não podem contar com avisos sonoros ou visuais adequados para informar sobre paradas e mudanças de rota, além de muitas vezes faltarem suportes para assistência nas entradas e saídas.
- d) Tecnologia descoberta: Embora existam tecnologias assistivas, como aplicativos de navegação, nem sempre elas estão integradas aos sistemas urbanos. A falta de compatibilidade com dispositivos móveis ou de informações atualizadas sobre o estado das ruas e trajetórias pode complicar a mobilidade.
- e) Falta de treinamento de profissionais: Motoristas de ônibus, taxistas e funcionários de estações de transporte não podem estar preparados para oferecer o suporte necessário, o que contribui para a experiência negativa.
- f) Segurança: A segurança é um grande desafio, pois a falta de elementos de orientação adequados aumenta o risco de acidentes, como quedas em escadas, atropelamentos e colisões com obstáculos inesperados.
- g) Urbanização desordenada: Em muitas cidades, o crescimento desordenado e a falta de planejamento agravaram a questão da mobilidade. Bairros sem infraestrutura adequada complicam ainda mais a locomoção para quem depende de tecnologias assistivas ou de caminhos seguros.
- h) Falta de conscientização social: A sociedade muitas vezes não entende as necessidades das pessoas com deficiência visual, resultando em atitudes que dificultam o uso dos espaços públicos, como estacionar em locais inapropriados ou obstruir calçadas.

Esses fatores evidenciam a importância de iniciativas públicas que promovam a acessibilidade e segurança no ambiente urbano, especialmente para pessoas com deficiência visual. Investir em soluções que melhorem a infraestrutura e adaptem o

espaço público é fundamental para garantir a autonomia desses indivíduos. Além disso, o uso de novas tecnologias, como sistemas de simulação, pode se tornar uma ferramenta valiosa tanto para o planejamento urbano quanto para a prevenção de acidentes. Tecnologias assistivas, integradas a sistemas urbanos inteligentes, podem auxiliar no desenvolvimento de rotas mais seguras e na criação de ambientes mais acessíveis, reduzindo os desafios da mobilidade para pessoas com deficiência visual e oferecendo à sociedade como um todo um planejamento urbano mais inclusivo.

2.3 Tecnologia de modelagem e simulação de espaços públicos

Com o crescimento das cidades e o aumento populacional, a mobilidade urbana se tornou um desafio em muitas regiões do mundo. Problemas como congestionamentos, gases do ar e acidentes de trânsito são comuns em áreas urbanas densamente povoadas (Tavares; Avelar, 2023). Por isso, a busca por soluções de mobilidade eficiente tem sido uma prioridade em muitas cidades, envolvendo investimentos em transporte público, incentivo ao uso de bicicletas e garantindo o espaço adequado aos pedestres, além da promoção de novas tecnologias e modelos de transporte, como veículos elétricos e compartilhamento de carros e bicicletas (Coutinho et al., 2020).

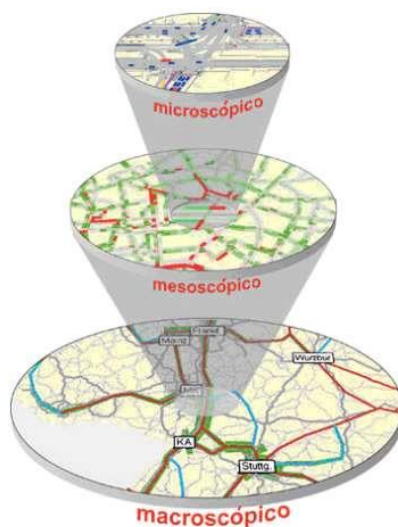
Técnicas de simulação têm sido aplicadas para implementar soluções de mobilidade servindo como uma ferramenta de análise que fornece representações da realidade por meio de modelos matemáticos e estatísticos. Esses modelos são utilizados para antecipar o comportamento do sistema em resposta às ações de suas variáveis físicas, dentro de um ambiente totalmente computacional (Alves, et al., 2018).

Uma das principais vantagens da simulação é a capacidade de comprimir ou expandir o tempo. Essa característica permite que os recursos computacionais sejam utilizados para modelar ambientes urbanos complexos, levando em consideração diversas variáveis, reduzindo o tempo de testes de horas para apenas alguns segundos. Como resultado, o tempo necessário para a realização de testes pode ser reduzido de várias horas para apenas alguns segundos. Essa agilidade possibilita análise de diferentes situações que podem estar ocorrendo no ambiente de simulação computacional proposto, propiciando uma avaliação rápida e eficiente das dinâmicas urbanas e dos impactos das intervenções planejadas.

Dessa forma, o ambiente de simulação desempenha um papel fundamental na realização de estudos hipotéticos, uma vez que permite a aproximação do comportamento real do sistema em análise. Assim, pode-se afirmar que ambientes de simulação computacional fornecem dados relevantes, tornando-se uma ferramenta de baixo custo e de alta durabilidade para a tomada de decisões. Essa abordagem é especialmente útil no auxílio à construção de projetos de sistemas reais ou conceituais, proporcionando uma base sólida para a formulação de estratégias e intervenções urbanas eficazes (Pais, 2022).

De acordo com Vilarinho (2008), as simulações podem ser classificadas em diferentes grupos, que incluem características como nível de detalhamento, escala temporal e representação do processo. A primeira característica, o nível de detalhamento, é dividida em três categorias, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Níveis de detalhamento dos modelos de simulação



Fonte: Vilarinho (2008); Silva (2019)

Segundo a definição apresentada por Vilarinho (2008), corroborada por Silva (2019) o nível macroscópico de simulação refere-se a uma abordagem de modelagem que se concentra no comportamento coletivo dos sistemas, considerando os elementos como grupos ou agregados em vez de analisá-los individualmente. No contexto de simulações urbanas ou de tráfego, abordagem macroscópica é amplamente utilizada para analisar e prever o comportamento de fluxos de tráfego, padrões de uso do solo e outras dinâmicas urbanas em uma grande escala (Silva,

2019). Essa técnica permite modelar o comportamento coletivo de sistemas complexos, como a movimentação de veículos em uma cidade ou a distribuição espacial de atividades humanas, sem se concentrar nos detalhes individuais de cada componente. Em vez disso, o foco está em capturar tendências gerais e interações agregadas, facilitando a compreensão e a previsão de fenômenos urbanos.

O nível mesoscópico de simulação representa uma abordagem intermediária entre o nível macroscópico e o microscópico. Ele combina elementos de ambos, permitindo capturar detalhes mais específicos do sistema sem a complexidade total do nível microscópico. Ao focar em subgrupos ou agregados menores de elementos, o nível mesoscópico oferece uma visão mais detalhada do que o nível macroscópico, mantendo, porém, uma simplicidade maior do que o microscópico (Silva, 2019).

Essa abordagem é útil para modelar sistemas onde é necessário um equilíbrio entre a precisão dos detalhes e a viabilidade computacional da simulação, permitindo a modelagem de grupos menores de elementos ou ainda a agregação de elementos individuais em subgrupos (Silva, 2019).

O nível microscópico de simulação é uma abordagem altamente detalhada e precisa, utilizada para modelar sistemas complexos. Nesse nível, o foco está em representar e simular o comportamento individual de cada elemento do sistema, como veículos, pedestres ou outros agentes, considerando suas interações e dinâmicas específicas. Essa abordagem permite uma análise profunda dos processos envolvidos, fornecendo um grau elevado de realismo, mas geralmente exige maior capacidade computacional devido à complexidade envolvida (Silva, 2019).

A escolha entre os níveis macroscópico, mesoscópico e microscópico em simulações depende dos objetivos específicos do estudo e do nível de detalhamento necessário. Enquanto o nível macroscópico é adequado para capturar tendências gerais e padrões agregados, o nível microscópico oferece uma visão detalhada das interações individuais, sendo mais preciso, mas também mais complexo e custoso em termos computacionais. O nível mesoscópico, por sua vez, oferece um equilíbrio entre esses dois extremos, combinando a simplicidade do macroscópico com um nível razoável de detalhe. Dessa forma, a abordagem mais apropriada deve ser escolhida conforme a escala e a profundidade da análise desejada, considerando sempre as limitações e os recursos disponíveis para a simulação.

2.3.1 Ferramentas de software de simulação e metaverso

Diversas ferramentas de softwares especializados em modelagem e simulação de mobilidade urbana são amplamente utilizadas no planejamento e análise de sistemas de transporte. Essas ferramentas desempenham um papel fundamental na avaliação e otimização de fluxos de tráfego, na melhoria da infraestrutura urbana e na integração eficiente de diferentes modos de transporte. Além disso, elas permitem a criação de cenários virtuais, possibilitando testar intervenções e políticas antes de sua implementação no mundo real. Dessa forma, as ferramentas de simulação auxiliam na tomada de decisões estratégicas, promovendo maior eficiência, sustentabilidade e segurança nos sistemas de transporte urbano.

Os softwares utilizados na simulação de mobilidade urbana com foco em pedestre podem ser classificados de acordo com suas funcionalidades e o tipo de análise que oferece. Esses programas são fundamentais para avaliar diversos aspectos, como segurança, acessibilidade, planejamento de rotas e fluxos de pedestres em áreas urbanas. Eles permitem modelar e prever o comportamento de pedestres em diferentes cenários, contribuindo para o planejamento de espaços públicos e a otimização de infraestruturas urbanas voltadas para o trânsito de pessoas. Entre os principais softwares disponíveis no mercado, destacam-se aqueles que oferecem funcionalidades específicas, como simulação de movimentos em tempo real, análise de densidade e planejamento de acessos e saídas em situações de emergência. Dos softwares de simulação de mobilidade urbana disponíveis no mercado atualmente, destacam-se quatro, cada um com características específicas que atendem a diferentes necessidades de análise e planejamento. Eles são:

- a) LEGION: software para modelagem e simulação que possibilita a criação de modelos precisos de espaços urbanos, permitindo a simulação e análise detalhadas com base em um conjunto de dados de entrada, que incluem informações sobre projeto, demanda e dados operacionais. Esse software pode ser utilizado para desenvolver e avaliar locais onde há grande concentração de pessoas, como estações de trem, estádios esportivos, aeroportos, complexos de escritórios, teatros, praças e estação de transbordo, por exemplo. Com suas funcionalidades avançadas, o LEGION facilita a compreensão do comportamento dos pedestres em diferentes cenários, ajudando na otimização do fluxo de pessoas e na melhoria da segurança e da acessibilidade nesses espaços (Bentley, 2024).

- b) MASSMOTION: software avançado de simulação de multidões, desenvolvido pela Arup, uma das maiores empresas de engenharia do mundo. Esse software utiliza tecnologia de modelagem matemática para analisar a circulação de grande volume de pessoas, operando com base em um sistema de agentes autônomos. Ele prevê como as pessoas interagem com o ambiente construído, permitindo uma análise detalhada do comportamento humano em diferentes cenários. (Bentley, 2024).
- c) PTV VISSIM: é o software líder mundial em microsimulação de tráfego multimodal, reconhecido por sua capacidade de reproduzir padrões de tráfego de veículos e pedestres com precisão e um alto nível de detalhamento. Ele permite a simulação detalhada das interações ocorridas entre pedestres e veículos em cruzamentos, áreas urbanas e outros espaços compartilhados. Sua flexibilidade e capacidade de simular o comportamento de diferentes modos de transporte o tornam uma ferramenta indispensável para o planejamento urbano, ajudando a melhorar a fluidez e a segurança do tráfego em ambientes complexos (Bentley, 2024).
- d) SUMO - *Simulation of Urban Mobility*: é um software de código aberto desenvolvido no Instituto de Sistemas de Transporte do Centro Aeroespacial Alemão. Este software foi projetado para criar simulações de tráfego, incorporando uma variedade de elementos, como veículos e pedestres. Sua estrutura flexível permite que pesquisadores e profissionais do setor ajustem e personalizem as simulações conforme suas necessidades específicas. O SUMO é especialmente apropriado para a análise de cenários urbanos, proporcionando insights sobre a dinâmica do tráfego e auxiliando na tomada de decisões relacionadas ao planejamento de mobilidade urbana e à gestão do tráfego (Barreto, 2023).

Os quatro softwares de simulação apresentados—LEGION, MASSMOTION, PTV VISSIM e SUMO—oferecem uma variedade de funcionalidades que atendem a diferentes necessidades na modelagem de mobilidade urbana. O LEGION destaca-se na simulação de ambientes com alta concentração de pessoas, sendo ideal para analisar a interação dos pedestres em locais como estações e arenas. Por sua vez, o MASSMOTION utiliza tecnologia de modelagem matemática para prever o comportamento de multidões em espaços complexos, focando na segurança e

eficiência. O PTV VISSIM, com sua capacidade de microsimulação, permite uma análise detalhada das interações entre veículos e pedestres em áreas urbanas, essencial para o planejamento do tráfego. Por fim, o SUMO, sendo um software de código aberto, oferece flexibilidade e acessibilidade para simulações de tráfego que incorporam uma ampla gama de elementos. Diante dessas características, o SUMO se destaca por sua capacidade de adaptação e personalização, tornando-se uma ferramenta adequada para estudos que buscam compreender e otimizar a mobilidade urbana em um contexto dinâmico e em constante evolução.

O SUMO inclui uma variedade de elementos e ferramentas essenciais para criar cenários e ambientes de simulação, desde simples até grandes redes complexas. Com suas funcionalidades, os usuários podem criar cenários personalizados para analisar diferentes situações. A flexibilidade do software permite o desenvolvimento de cenários controlados de diversas formas. Para promover a flexibilidade e a aplicabilidade do SUMO na análise de cenários de mobilidade urbana, diversos estudos na literatura utilizam esse software como uma etapa para validar a eficiência das soluções propostas (Barreto, 2023).

Desta forma, percebe-se que o SUMO pode ser utilizado de diversas maneiras para apoiar o desenvolvimento de aplicações e projetos em mobilidade urbana. O SUMO é um software livre e de código aberto, seu uso é acessível e amplamente estendido por desenvolvedores e outros específicos da área. Quanto ao método de funcionamento, o simulador é classificado como microscópico, focando na mobilidade individual do elemento de simulação (Barreto, 2023).

Na simulação de tráfego e transporte os dados de mobilidade podem ser alimentados em um ambiente virtual, permitindo que os planejadores avaliem o desempenho do sistema de transporte existente e testem intervenções e melhorias potenciais. Essa simulação pode fornecer insights valiosos sobre como otimizar a rede de transporte, melhorar a eficiência e reduzir congestionamentos (Simões, 2023)

Por meio de interfaces de realidade virtual ou aumentada, o metaverso tem o potencial de aprimorar significativamente a experiência do usuário na mobilidade urbana. Essa tecnologia permite que os usuários possam acessar informações em tempo real, como os horários de chegada dos transportes públicos, rotas alternativas, condições de trânsito e orientações de navegação enquanto se deslocam pela cidade. Ao integrar essas informações de maneira interativa e visual, o metaverso pode tornar os deslocamentos mais eficientes, convenientes e agradáveis, contribuindo para uma

melhor gestão do tempo e uma experiência mais satisfatória para os usuários. Dessa forma, a utilização de tecnologias imersivas não apenas facilita a mobilidade, mas também melhora a qualidade de vida nas áreas urbanas, ao reduzir o estresse associado ao deslocamento e proporcionar um maior controle sobre a jornada urbana (Pais, 2022).

O metaverso pode facilitar a integração de diferentes modos de transporte. Por exemplo, um ambiente virtual pode fornecer informações sobre disponibilidade e localização de estações de bicicletas compartilhadas, pontos de carregamento para veículos elétricos, estações de metrô e paradas de ônibus. Esse acesso à informação pode auxiliar usuários no planejamento de suas rotas combinando diversos meios de transporte e visualizando a melhor forma de se deslocar pela cidade (Toledo, 2023).

No contexto do planejamento urbano virtual. Os planejadores podem utilizar o metaverso para projetar ambientes virtuais que simulem o desenvolvimento urbano, considerando possíveis cenários de crescimento e transformação urbana. Essa abordagem permite que os planejadores urbanos experimentem diversos cenários de crescimento urbano, utilização da infraestrutura de transporte e distribuição de espaços públicos antes de sua implementação no mundo real. Por meio dessa simulação, tanto os planejadores quanto os cidadãos podem visualizar como as mudanças propostas afetarão a mobilidade e a qualidade de vida na cidade. Esse processo de visualização facilita a tomada de decisões informadas, permitindo que os stakeholders avaliem os impactos das intervenções antes de serem realizadas, além de promover uma maior participação da comunidade nas discussões sobre o futuro urbano (Toledo, 2023).

O constante desenvolvimento das cidades fomenta a criação de espaços virtuais onde os cidadãos podem compartilhar ideias, opinar sobre propostas e colaborar na construção de soluções para os desafios de mobilidade. Esse espaço propulsor de trocas entre aqueles que usufruem cotidianamente do espaço público promove um diálogo aberto e inclusivo. Por meio de estratégias mais alinhadas às necessidades e desejos da comunidade, ele estimula o engajamento do cidadão e participação pública, funcionando como uma ferramenta potente para envolver os cidadãos no processo de planejamento urbano e na definição das estratégias de mobilidade (Toledo, 2023).

Aguiar (2010) destaca a importância de pesquisas voltadas ao movimento do corpo humano, uma vez que essas investigações permitem avaliar as condições de

locomoção conforme o tipo de piso, a presença de obstáculos, entre outros fatores. Tais estudos podem facilitar medições detalhadas sobre movimento, embora geralmente sejam realizados em um ambiente artificial.

(...) os ambientes urbanos permitem uma avaliação das condições de vida real, mas é difícil comparar as diferentes condições de uma forma controlada. Estas situações levantadas ainda resultam em certa falta de informações detalhadas sobre a circulação de pedestres e sobre as questões de acessibilidade. Na Europa, a acessibilidade é comumente medida em termos quantitativos. Já nos Estados Unidos, é muito relacionada às legislações. Sob esta ótica, a avaliação física dos espaços de pedestres é baseada em parâmetros que possam proporcionar, pelo menos, um mínimo necessário de acessibilidade que garanta a mobilidade de pedestres (Aguiar, 2010, p. 33).

Aguiar (2010) destaca, na citação acima, as dificuldades em obter informações detalhadas e comparativas sobre a circulação de pedestres e acessibilidade em ambientes urbanos reais. A avaliação dessas condições varia expressivamente entre regiões, sendo predominantemente quantitativa na Europa e baseada em legislações nos Estados Unidos. Esse desafio de uniformizar e controlar as avaliações físicas em ambientes reais pode ser mitigado pelo uso de tecnologias virtuais. O metaverso, por exemplo, oferece um espaço colaborativo em que as discrepâncias entre o real e o virtual podem ser reduzidas, permitindo simulações controladas e detalhadas das condições de acessibilidade.

O metaverso é comumente associado ao ambiente virtual *Second Life*, contudo, seu conceito abrange uma amplitude maior do que esse exemplo específico. *Second Life* é um ambiente virtual tridimensional (AV), gerado por computador, criado para oferecer espaços representacionais que simulam ilusões ou experiências imersivas particulares (Hillis, 2003). No contexto do metaverso, os usuários têm a oportunidade de explorar ambientes digitais, participar de atividades interativas, interagir socialmente com outros participantes e até realizar transações comerciais, ampliando as possibilidades de integração entre o real e o virtual.

O conceito de metaverso tem ganhado popularidade e sido amplamente discutido no contexto da evolução da Internet e das tecnologias de realidade virtual. Empresas de grande porte, como Facebook, Microsoft e Epic Games, também têm direcionado investimentos significativos para o desenvolvimento de projetos voltados ao metaverso, demonstrando o potencial transformador dessa tecnologia para o futuro da interação digital e imersiva (Toledo, 2023).

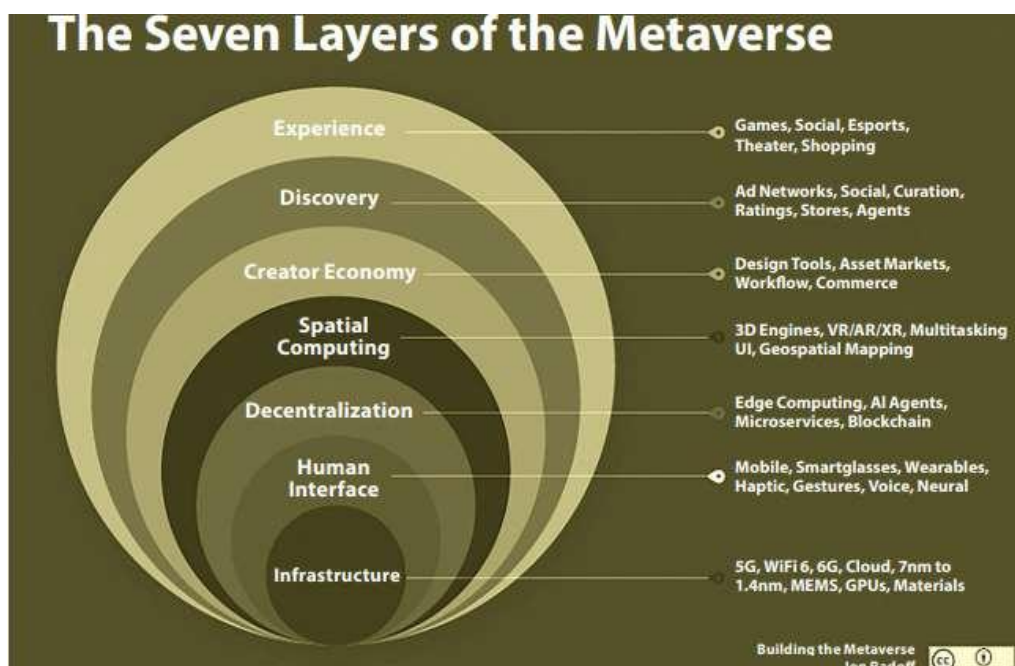
O crescente entusiasmo em torno do metaverso tem sido fortemente impulsionado por grandes empresas de tecnologia que investem no aprimoramento e na expansão das realidades digitais e físicas dos indivíduos. As atividades desenvolvidas nesses ambientes virtuais são diversas e incluem a compra de roupas e acessórios para avatares, a aquisição de terrenos e a construção de casas virtuais, além da participação em experiências sociais. Outras iniciativas envolvem o comércio imersivo em shoppings virtuais, o uso de salas de aula digitais para aprendizagem imersiva, a aquisição de obras de arte digitais e ativos como *non-fungible token* (NFTs), bem como a interação digital voltada à integração de colaboradores, atendimento ao cliente e vendas, conforme aponta Hillis(2003).

O metaverso representa uma expansão do conceito de realidade virtual, proporcionando um ambiente no qual múltiplos usuários podem se conectar e explorar um mundo virtual simulado em tempo real. Nesse espaço, os indivíduos podem criar avatares personalizados, socializar, trabalhar, participar de eventos, consumir conteúdo digital e realizar transações de maneira ágil (Tibúrcio *et al.*, 2022). Essa imersão em um universo digital compartilhado oferece novas oportunidades de interação social, comercial e profissional, redefinindo a forma como as pessoas experimentam e se relacionam com o ambiente virtual.

A integração entre o metaverso e a mobilidade urbana pode inaugurar novas possibilidades no futuro das cidades. No metaverso, seria possível criar simulações de cenários urbanos, permitindo testar e avaliar soluções de mobilidade antes de sua implementação no mundo real, o que contribuiria para otimizar o planejamento urbano. Além disso, o uso da realidade virtual e aumentada poderia aprimorar significativamente a experiência dos usuários em sistemas de transporte, oferecendo informações em tempo real, orientações de navegação personalizadas e até entretenimento durante os deslocamentos (Tibúrcio *et al.*, 2022).

Conforme Costa (2022), o metaverso é estruturado em sete camadas, conforme descrito por Radoff (2021), que delinea a cadeia de valor desse ambiente digital. As camadas são: experiência, descoberta, economia do criador, computação espacial, descentralização, interface humana e infraestrutura (Figura 2). Cada uma dessas camadas desempenha um papel fundamental no desenvolvimento e funcionamento do metaverso, integrando aspectos que vão desde a interação dos usuários até a sustentação técnica e a descentralização dos sistemas digitais.

Figura 2 – As camadas do Metaverso



Fonte: Costa (2022, p. 2010)

A primeira camada, denominada-se "Experiência" refere-se à vivência imersiva em ambientes tridimensionais que não estão presentes na realidade física. Essa experiência ocorre, frequentemente, em plataformas de jogos, nas quais os usuários podem escolher assumir papéis como guerreiros, pilotos ou vilões. Além disso, essa imersão estende-se a outros contextos, como apresentações de música, teatro e dança. O aspecto interessante desse ambiente digital é a possibilidade de comercialização ilimitada de ingressos para espaços outrora restritos e de alto custo, agora replicáveis de maneira infinita (Costa, 2022).

Radoff (2021) ressalta que, com a crescente popularização de ambientes virtuais como o metaverso, os jogos tendem a evoluir, incorporando cada vez mais eventos inspirados por formas de entretenimento ao vivo, como os shows de música e o teatro imersivo, já presentes em plataformas como *Fortnite*, *Roblox* e *Rec Room*. Além disso, os esportes eletrônicos (*e-sports*) e as comunidades online serão impulsionadas pelo entretenimento social. Simultaneamente, setores tradicionais, como turismo, educação e performances ao vivo, passarão por um processo de reconfiguração, fundamentado na lógica de jogo e da economia virtual de abundância. O autor ainda pontua que, nos eventos ao vivo, os participantes deixam de ser meros consumidores passivos de conteúdo, tornando-se também criadores e amplificadores desse material. Embora, no passado, o conceito de conteúdo gerado pelo usuário

fosse amplamente utilizado, esse cenário se transformou. Atualmente, o conteúdo não é simplesmente produzido pelos indivíduos de forma isolada; ele emerge a partir de suas interações e contribui ativamente para a substância das discussões e dinâmicas dentro de suas comunidades.

A segunda camada, denominada "Descobrimto", refere-se ao processo pelo qual os indivíduos são expostos a novas experiências no ambiente virtual. De acordo com Nascimento (2019, p. 27), "os sistemas de descoberta podem ser classificados em *inbound*, quando o usuário busca ativamente sobre uma experiência e *outbound*, quando é apresentada a pessoa por estratégias de marketing". Nesse sentido, o "Descobrimto" não se limita apenas à curiosidade espontânea do usuário, mas envolve também uma dimensão estratégica, na qual as empresas e plataformas digitais utilizam técnicas sofisticadas de personalização e recomendação, com o objetivo de antecipar os interesses e preferências dos usuários. Esses sistemas, ao combinarem a busca ativa com a exposição direcionada, ampliam significativamente as possibilidades de imersão e engajamento no meio virtual, tornando o processo de descobrimto uma experiência mais dinâmica e interativa.

Dando sequência, tem-se a terceira camada, intitulada "Economia do Criador", que representa um ambiente onde os usuários desfrutam de uma maior liberdade para desenvolver seus próprios avatares, construir edificações, e projetar cenários diversificados, incluindo até mesmo a criação de seres e criaturas. Segundo Costa (2022), essa flexibilidade é um dos principais atrativos do metaverso, visto que as plataformas oferecem ferramentas que possibilitam a personalização completa dos ambientes virtuais. Esse ecossistema permite que os usuários não sejam apenas consumidores, mas também produtores de conteúdo, o que favorece a construção de uma economia digital autossustentável, onde a criatividade e a inovação são as principais moedas de troca. Dessa forma, a "Economia do Criador" incentiva o desenvolvimento de uma cultura participativa e colaborativa, que redefine as formas tradicionais de produção e consumo no ambiente virtual.

Na quarta camada, denominada "Computação Espacial", ocorre a integração das tecnologias emergentes de realidade virtual (RV), realidade aumentada (RA) e realidade mista (RM). De acordo com Nascimento (2019), essa camada permite que o metaverso avance continuamente, rompendo com as limitações impostas pelas interfaces tradicionais, como a tela e o teclado. A "Computação Espacial" proporciona uma interação verdadeiramente imersiva, onde o mundo físico e o virtual se

entrelaçam de maneira fluida, criando uma experiência sensorial que vai além de simples simulações limitadas. Com o desenvolvimento dessas tecnologias, os usuários podem interagir de forma natural e intuitiva com os ambientes digitais, utilizando gestos, movimentos corporais e dispositivos vestíveis, ampliando as possibilidades de criação e colaboração no metaverso. Esse avanço marca uma transição importante para a computação ubíqua, na qual a tecnologia se torna uma extensão invisível de nosso cotidiano, oferecendo interações mais dinâmicas e contextualmente adaptadas.

A quinta camada, denominada "Descentralização", representa uma ruptura com os modelos tradicionais em que os sistemas eram controlados por uma única entidade ou plataforma centralizada. No contexto do metaverso, conforme observado por Radoff (2021), a descentralização maximiza as opções disponíveis para os usuários, promovendo sistemas interoperáveis que funcionam dentro de mercados competitivos. Nesse cenário, os criadores não apenas possuem maior autonomia, mas também são soberanos sobre seus próprios dados, criações e ativos digitais. A descentralização elimina a dependência de intermediários centralizados, permitindo que os indivíduos tenham controle direto sobre suas interações e transações no ambiente virtual. Isso não apenas fomenta a inovação e a diversidade de experiências dentro do metaverso, mas também estimula o desenvolvimento de novas economias digitais baseadas em criptomoedas, contratos inteligentes e outras tecnologias *blockchain*, garantindo que os direitos dos criadores sejam protegidos em um ambiente competitivo e colaborativo. (Radoff, 2021).

Na sexta, denominada "Interface Humana", é abordada a concepção de dispositivos tecnológicos, como smartphones, óculos de realidade aumentada e outros dispositivos inteligentes. O principal objetivo dessa camada é proporcionar uma experiência sensorial rica ao usuário durante a exploração do metaverso (Nascimento, 2019). Nesse contexto, as interfaces devem ser projetadas de maneira a otimizar a interação entre o usuário e as tecnologias, levando em consideração aspectos como usabilidade, ergonomia e acessibilidade. Assim, a "Interface Humana" não apenas facilita o acesso ao metaverso, mas também enriquece a imersão do usuário, promovendo uma interação mais intuitiva e envolvente com as experiências digitais.

Radoff (2021) discute a sétima e última camada, intitulada "Infraestrutura", que se refere à tecnologia que habilita nos dispositivos e os conecta à rede, além de garantir a entrega conteúdo. Essa camada é fundamental, pois possibilita a

comunicação eficiente entre dispositivos e a rede. A implementação das redes 5G promete uma melhoria drástica na largura de banda, reduzindo simultaneamente a contenção e a latência da rede. Essa evolução tecnológica não apenas otimiza a experiência do usuário, mas também cria possibilidades para a comunicação em tempo real e a transmissão de dados. Além disso, a futura adoção do 6G ampliará as velocidades de transmissão em uma magnitude ainda maior, potencializando ainda mais as capacidades dos dispositivos conectados e transformando a forma como interagimos com o mundo digital.

A convergência entre metaverso com a mobilidade urbana abre novas possibilidades, bem como desafios significativos. Um cenário ilustrativo envolve a utilização da realidade virtual para que indivíduos possam se deslocar virtualmente dentro do metaverso, interagindo com outras pessoas e explorando ambientes digitais. Essa prática pode impactar a forma como as pessoas se locomovem fisicamente, pois parte de suas experiências poderia ser realizada em um espaço virtual (Angelova, et al, 2024). Contudo, essa ideia ainda é um conceito em evolução e o impacto total na mobilidade urbana e na vida cotidiana ainda permanece a ser observado (Perdigão *et al.*, 2020; Silva, 2022).

Ademais, o metaverso pode ser integrado nas estratégias urbanas para otimizar o planejamento das cidades, permitindo simulações de trânsito e o transporte, aprimorando a experiência do usuário, integrando diferentes modos de transporte e promovendo o engajamento dos cidadãos. Essas aplicações têm o potencial de contribuir significativamente para o desenvolvimento de cidades mais inteligentes, eficientes e sustentáveis (Perdigão *et al.*, 2020). A utilização do metaverso nesse contexto pode não apenas transformar a mobilidade urbana, mas também redefinir as interações sociais e a relação dos cidadãos com seus ambientes urbanos.

Após as ideias pós-modernas que emergiram a partir da década de 1950, o entendimento sobre o papel das cidades começou a evoluir significativamente. No início dos anos 2000, passou-se a reconhecer que as cidades não deveriam ser produtos tecnológicos destinados a atrair investimentos e turistas, mas também como espaços que promovam qualidade de vida para todos os seus habitantes. Esse novo paradigma reforçou a importância de um ambiente urbano que seja democrático e inclusivo, garantindo acessibilidade e bem-estar para todos. Nesse contexto, urbanistas como Gehl (2013) começaram a defender o conceito de uma "cidade para pessoas", enfatizando que as cidades devem ser planejadas de modo a serem vivas,

seguras, sustentáveis e saudáveis. Esse modelo de urbanismo busca colocar o ser humano no centro das decisões, promovendo o equilíbrio entre desenvolvimento urbano e qualidade de vida, com foco em mobilidade, segurança e sustentabilidade ambiental.

Um esforço central para alcançar esses objetivos é uma intervenção política unificada em toda a cidade, visando garantir que os habitantes se sintam incentivados a caminhar, pedalar ou ocupar os espaços públicos. Uma cidade que convida as pessoas a caminhar, por definição, precisa possuir uma estrutura razoavelmente coesa que permita percursos curtos a pé, além de oferecer espaços públicos atrativos e uma diversidade de funções urbanas. Atualmente, a tendência do planejamento urbano é a de reconectar a cidade com as pessoas, promovendo ambientes urbanos de qualidade, que possibilitem a todos a experiência de vivenciar a cidade de forma igualitária e conjunta (Gehl, 2013).

Nesse contexto, o potencial do metaverso para auxiliar nas estratégias urbanas é bastante promissor. Ele pode ser aplicado em diversas áreas do planejamento urbano virtual, como no engajamento dos cidadãos, na simulação de mobilidade e transporte, nos testes de políticas e regulamentações, bem como em programas educacionais e conscientização. À medida que as tecnologias evoluem e mais cidades adotam essa abordagem inovadora, espera-se uma transformação significativa na maneira como planejamos, projetamos e vivemos nos ambientes urbanos (Toledo, 2023).

2.3.2 Aplicação em projetos de acessibilidade

A simulação pode prever como áreas urbanas serão remodeladas para torná-las mais inclusivas, com rotas acessíveis, sinalização visual e tátil e tecnologias de apoio, auxiliando no planejamento de áreas inclusivas.

Para Betinni (2023) o acesso das pessoas com deficiência à tecnologia assistiva, além de ser um direito constitucional, é fundamental para sua inclusão e qualidade de vida. A educação é um princípio garantido pela Constituição e reforçada pela Lei Brasileira da Inclusão. Além disso, o metaverso é apontado como uma ferramenta promissora para a educação inclusiva, permitindo o desenvolvimento de jogos educacionais que podem ajudar a reduzir desigualdades e promover a justiça social.

O uso do metaverso e de simulações 3D imersivas pode permitir, por exemplo, a participação de pessoas com deficiência, na avaliação e ajuste de projetos de acessibilidade, que podem ser envolvidas em testes virtuais de novos ambientes urbanos acessíveis, fornecendo feedback direto sobre como as mudanças planejadas afetaram sua mobilidade.

Simulações em ambientes virtuais podem testar a instalação de semáforos sonoros e cruzamentos acessíveis para garantir que pessoas com deficiência visual possam atravessar ruas de forma segura.

2.4 Estudos anteriores e tendências

A complexidade e o nível de detalhamento das simulações de variação pedonal atendem aos objetivos específicos de cada estudo. Na literatura, os processos de escolha de rota e o comportamento dos pedestres em travessias são frequentemente envolvidos de forma separada. Um resumo sobre esse tema pode ser encontrado em Papadimitriou et al. (2009). Cybis e Jacobsen (2011) aponta várias configurações dos simuladores comerciais de pedestres, que podem influenciar os resultados gerados pelos modelos. A soma dos conceitos de simulação e metaverso sugere que o futuro reserva muitas novidades às operações relacionadas às cidades.

Em uma cidade, os eventos que ocorrem no mundo real – apagar um incêndio por exemplo no mercado municipal podem ser testados no mundo virtual, com detalhes como desvio de tráfego para facilitar o acesso dos bombeiros, desligamento de energia para evitar o alastramento e reforço do bombeamento de água para a região. A tecnologia pode auxiliar especialmente na simulação de eventos híbridos e complexos.

Com o avanço da tecnologia computacional, a modelagem de fluxos de pedestres tem se consolidado como uma ferramenta eficaz na avaliação do desempenho de edificações e na qualidade das instalações destinadas aos pedestres. Os modelos de simulação são classificados com base em diferentes critérios, incluindo a representação espacial, que pode ser contínua, baseada em graus ou estruturada em redes; o propósito, que varia entre modelos específicos e de uso geral; e o nível de detalhe, que pode ser macroscópico, mesoscópico ou microscópico, dependendo da complexidade e granularidade da análise requerida. As teorias e modelos específicos para situações de emergência ainda estão na fase inicial de

desenvolvimento, especialmente aqueles que estudam fluxos de pedestres em espaços. Embora existam diversos modelos de simulação de fluxos de pedestres, todos os sistemas de modelagem são considerados úteis.

Os Sistemas de Apoio à Evacuação (SAE) são apresentados na literatura como um dos principais instrumentos para redução de perdas de vida em ações emergenciais. No entanto, ainda existem imprecisões relacionadas à eficiência desses sistemas de alerta e evacuação, principalmente no que concerne inundações naturais e tecnológicas. Nesse contexto, os principais avanços de SAE estão associados à modelagem computacional.

Além dos desafios científicos relacionados à modelagem dos SAE, na prática, é necessário garantir que o sistema de alerta e evacuação seja transmitido em tempo hábil para a população obter as informações de risco e agir rapidamente. Essas incertezas também devem ser incorporadas em modelagens, permitindo uma apreciação global do funcionamento potencial dos SAE, subsidiando tomadas de decisão mais eficientes.

3 METODOLOGIA

3.1 Abordagem da Pesquisa

A proposta visa a simulação do deslocamento do personagem com deficiência visual de acordo com parâmetros definidos no projeto de Reestruturação Urbanoviária da Avenida dos Andradas, em um trecho de 220 metros (Figura 3), correspondido entre a Associação dos Cegos (Figura 4) e o Hemocentro Regional (Figura 5), desenvolvido pela Secretaria de Mobilidade Urbana de Juiz de Fora, utilizando o SUMO, software que tem como objetivo permitir a criação de cenários de simulação para aplicações de mobilidade e que dispõe de ferramentas que auxiliam no planejamento de aplicações específicas para cada variante encontrada através de uma visão realista, possibilitando demonstrar como a situação simulada iria impactar nesse contexto, possibilitando uma avaliação mais eficaz e satisfatória antes da implementação real, economizando, assim, tempo e recursos financeiros, em tempo real, no Metaverso (Lopez et al, 2018).

Figura 3 – Mapa deslocamento entre Associação dos Cegos e Hemocentro Regional



Fonte: Elaborada pela autora (2024)

A Avenida dos Andradas, localizada em Juiz de Fora, Minas Gerais, é uma das principais vias da cidade, conectando diversos bairros residenciais e comerciais. Esta avenida desempenha um papel importante na infraestrutura urbana, facilitando o fluxo de veículos e pedestres, sendo bem servida por várias linhas de ônibus que garantem o acesso ao transporte público (Moura, Machado, Zaidan, 2017).

A Associação dos Cegos de Juiz de Fora (ACJF)¹ localizada no número 455 da Avenida dos Andradas é uma organização sem fins lucrativos dedicada a promover a inclusão, a educação e a assistência social de pessoas com deficiência visual. Fundada em 1939 com o objetivo de apoiar essa comunidade, a ACJF oferece diversos serviços, incluindo cursos de Braille, informática adaptada, reabilitação, e oficinas de capacitação profissional, e desde então, tem desempenhado um papel fundamental na promoção da inclusão social, educacional e profissional de pessoas com deficiência visual na região, e além dos serviços educativos e de reabilitação, também realiza atividades culturais e esportivas para fomentar a integração social dos seus associados, buscando eliminar barreiras e promover a igualdade de oportunidades para pessoas com deficiência visual.

Figura 4 – Fachada Associação dos Cegos 2024.



Fonte: Elaborada pela autora (2024)

Figura 5 – Fachada Hemocentro Regional 2024.



Fonte: Elaborada pela autora (2024)

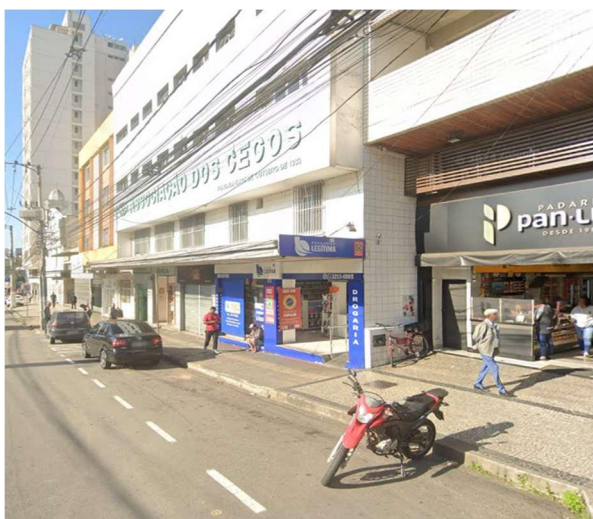
Por ser uma instituição especializada em reabilitação e atendimento a deficientes visuais, e estar próximo a outras áreas centrais e comerciais, há um fluxo

¹ Fonte: Associação dos Cegos: Site disponível em: <https://www.acegosjf.com.br/a-associacao/>. Acesso em: 25 jul. 2024.

intenso de pedestre nessa região, fazendo com que seus arredores tenham um maior fluxo de pessoas cegas e pessoas transitando em busca de serviços ou atendimento em locais de acessibilidade melhorada.

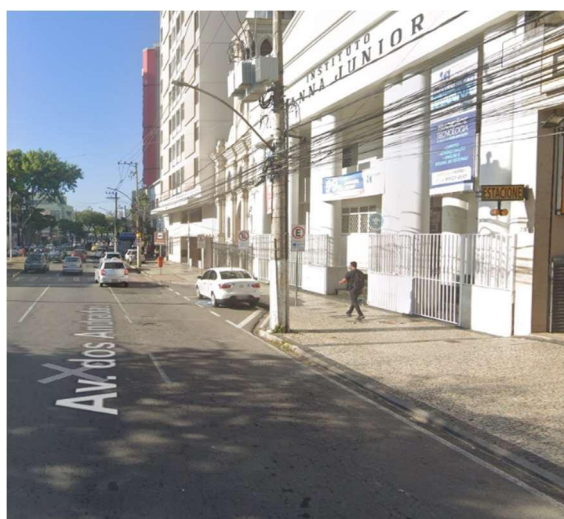
Ao longo da avenida, há uma grande variedade de estabelecimentos comerciais, incluindo lojas, restaurantes, bancos e serviços essenciais, além de instituições educacionais e de saúde. A avenida também conta com calçadas largas, variando de 2 a 3 metros livres, com arborização (Figura 6 e Figura 7). Sua importância histórica e cultural é significativa, sendo uma via central no desenvolvimento urbano de Juiz de Fora. A manutenção e desenvolvimento contínuo da Avenida dos Andradas são importantes para garantir sua funcionalidade e contribuição para a qualidade de vida na cidade.

Figura 6 – Variação calçada Trecho Avenida Andradas.



Fonte: Elaborada pela autora (2024)

Figura 7 – Variação calçada Trecho Avenida Andradas.



Fonte: Elaborada pela autora (2024)

Ao sair da edificação em direção ao Hemocentro, o pedestre, em todo o percurso, somente encontrará na frente da porta da Associação piso de alerta, e um pequeno trecho de piso direcional no sentido contrário ao objetivo do estudo (Figura 8).

Figura 8 - Entrada da Associação dos Cegos em Juiz de Fora



Fonte: Elaborada pela Autora (2024)

As calçadas entre a Associação dos Cegos e o Hemominas em Juiz de Fora não estão adaptadas, principalmente para pessoas de preocupação devido à acessibilidade e segurança dos pedestres, especialmente para pessoas com deficiência visual. No Plano de Mobilidade de Juiz de Fora (2016), que teve como horizonte o prazo de 10 anos, tem como objetivo a facilidade e o deslocamento de pessoas a pé, contempla parâmetros sobre acessibilidade de pessoas com deficiência visual. Entre as ações prioritárias constam as seguintes diretrizes como:

Desenvolver projetos de sinalização em pontos de travessia – cruzamentos, meio de quadra e nas proximidades dos pontos de ônibus – e acessos aos parques e praças, com faixas de pedestres e rampas ou a elevação da faixa, incluindo iluminação pedonal, sinalização tátil ou sonora para pedestres com deficiência visual e possibilidade de aumentar tempo de travessia para pedestres idosos, com deficiência ou mobilidade reduzida (Juiz de Fora, 2016)

Entre as intervenções propostas no plano, existe a reestruturação urbanoviária da via, abrangendo uma ampliação de sua capacidade de escoamento e o disciplinamento nas travessias, para dar maior segurança aos pedestres, usuários do transporte coletivo, motoristas e passageiros, além de conforto e fluidez, e contribuir para a melhoria da sua paisagem urbana (Juiz de Fora, 2016).

O PLANMOB-JF (2016) contempla também a implantação de canteiros centrais, a adequação da iluminação e a melhoria na disposição dos espaços para pedestres e passageiros do sistema de transporte coletivo (Juiz de Fora, 2016). Em relação à acessibilidade tem como proposta a introdução de rampas de acesso junto aos passeios que, aliadas às faixas de pedestres, ao longo de todo o percurso da avenida, promoverão travessias em condições de segurança (Juiz de Fora, 2016).

O Plano de Mobilidade também define que serão implantadas 4 faixas de tráfego, na região com 2 faixas por sentido, tanto da Igreja da Glória, como das antigas instalações da Fábrica Ferreira Guimarães, locais onde será inserida uma faixa adicional de circulação (5ª faixa). Estas faixas adicionais se destinam à estocagem dos veículos que necessitam convergir à esquerda em direção, respectivamente, à Rua Moraes Sarmiento e à Rua Benjamin Guimarães (Juiz de Fora, 2016).

Tem como proposta a implantação de canteiros centrais no local, com inserção de uma 5ª faixa na pista de descida, nas proximidades da Rua Paula Lima (Juiz de Fora, 2016). Contudo, serão mantidas as faixas de circulação atuais. Outras mudanças previstas são as baias para estacionamento, carga/descarga e táxis, distribuídas junto aos passeios laterais, serão implantadas 4 faixas para a circulação de veículos e ampliação da largura da calçada em frente ao antigo Palácio da Saúde (Juiz de Fora, 2016). “Além destas intervenções diretas na Avenida dos Andradas foi elaborada uma proposta para a circulação nas vias situadas no seu entorno, de forma a promover melhores condições de mobilidade naquela região da Cidade” (Juiz de Fora, 2016, p. 237).

3.2 Seleção e descrição dos softwares de modelagem

A escolha do software de modelagem e simulação considerou a seleção de ferramenta útil para começar a entender e planejar a acessibilidade urbana, quando associada a outros estudos e ferramentas específicas de inclusão.

A simulação da travessia de pessoas cegas em um ambiente que combina o SUMO com o metaverso tem um enorme potencial para promover uma compreensão mais aprofundada da mobilidade urbana inclusiva e fornecer soluções mais eficazes

SUMO é uma plataforma de código aberto que permite personalizar praticamente todos os aspectos da simulação, desde o comportamento de pedestres até as interações com veículos e o ambiente. Isso permite ajustar o comportamento

de uma pessoa cega de forma detalhada, considerando fatores como a dependência de orientações táteis, sinais sonoros e outros estímulos.

No SUMO, o pedestre cego está configurado para andar em um ambiente urbano, com parâmetros ajustados para simular as características reais de uma pessoa cega, como:

- Velocidade de Caminhada Reduzida: uma caminhada cautelosa (por exemplo, 0,8 m/s).
- Impaciência: A impaciência ao atravessar as ruas pode ser ajustada para um valor menor, refletindo maior cautela.

O SUMO opera essencialmente com a combinação de três tipos de arquivos: o de rede, o de rotas e o de configuração. É importante destacar que todas as configurações, características e configurações utilizadas são baseadas na proposta do projeto de Revitalização Urbano da Avenida dos Andradas, considerando o pedestre, um deficiente visual caminhando com auxílio de uma bengala.

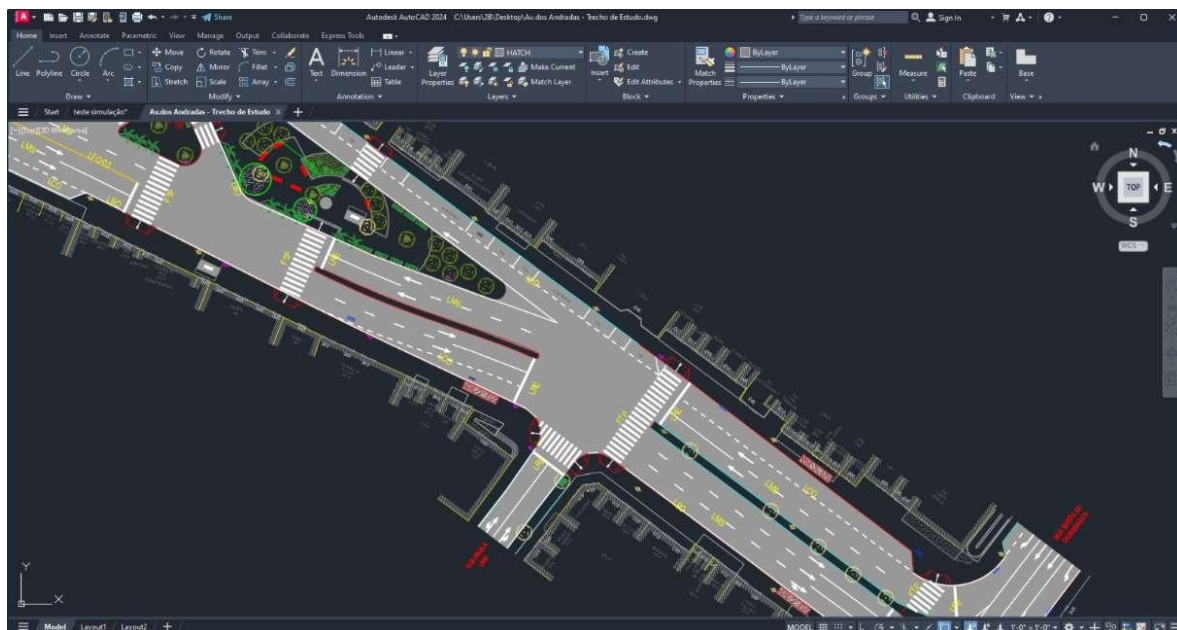
Para sincronizar o SUMO com o metaverso, é utilizado a API TraCI (*Traffic Control Interface*), que permite controlar a simulação no SUMO em tempo real e extrair informações, como a posição de pedestres, que podem ser transmitidas ao ambiente 3D.

O Unity3D é o ambiente 3D que replica o cenário urbano do SUMO.

Para realizar a comunicação entre o SUMO (Simulação de Mobilidade Urbana) e o Unity 3D utilizando o TraCI, foram feitas as seguintes etapas:

- Configuração da simulação no SUMO;
- Habilitação do TraCI;
- Conexão com Unity 3D;
- Envio de dados do Python para Unity;
- Integração e Visualização no Unity.

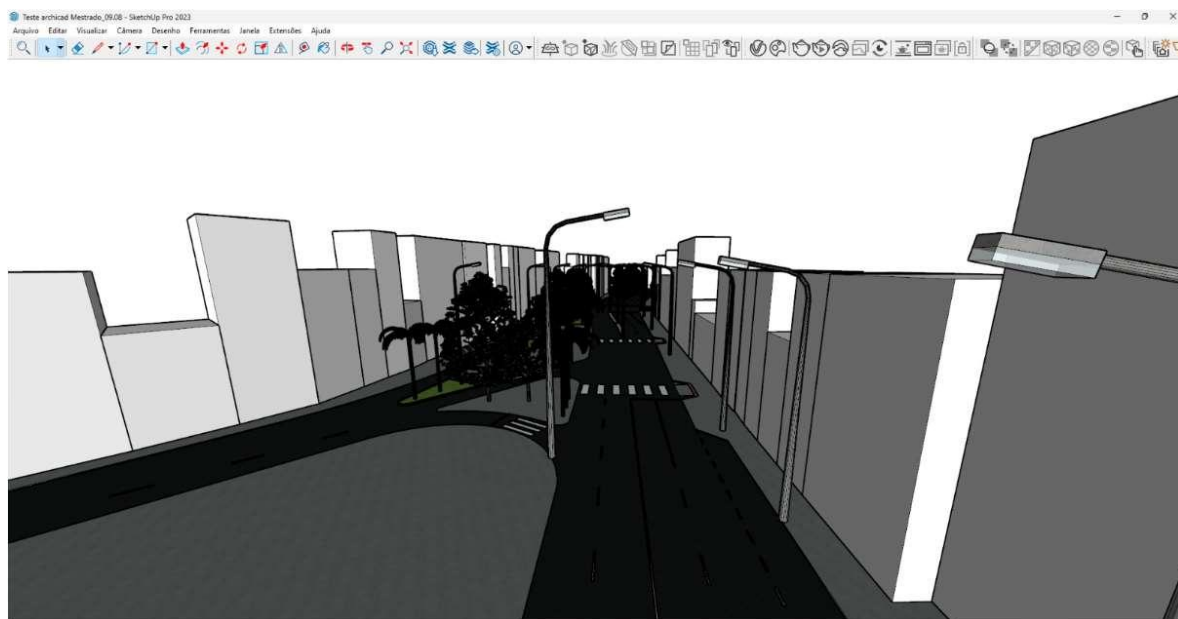
Para a construção da simulação do percurso estudado, foi modelado o ambiente no software SketchUp utilizando o desenho base em AutoCAD, sendo este um software do tipo CAD (*computer aided design*) utilizado principalmente para a elaboração de peças de desenho técnico em duas dimensões e para criação de modelos tridimensionais (Figura 9).



Fonte: Elaborada pela Autora (2024)

O SketchUp por sua vez, é um software voltado para a modelagem em 3D, desenvolvido pela *Startup Last D Software*, em 1999. Foi lançado no ano 2000 como uma ferramenta para criação do 3D. Pela agilidade do programa a Google se interessou e o adquiriu, sendo assim se propagou rapidamente. Utilizado principalmente nas áreas de Arquitetura, Design de Interiores, Engenharia e Paisagismo. Sua principal função é permitir a criação de modelos tridimensionais de maneira intuitiva e precisa, facilitando a visualização, planejamento e comunicação de projetos. Tem como função elaboração de representação gráfica, técnicas de projetos, como casas, edifícios, estruturas diversas, criando formas em terceira dimensão (Figura 10).

Figura 10 - Foto da modelagem do SketchUp Pro 2023

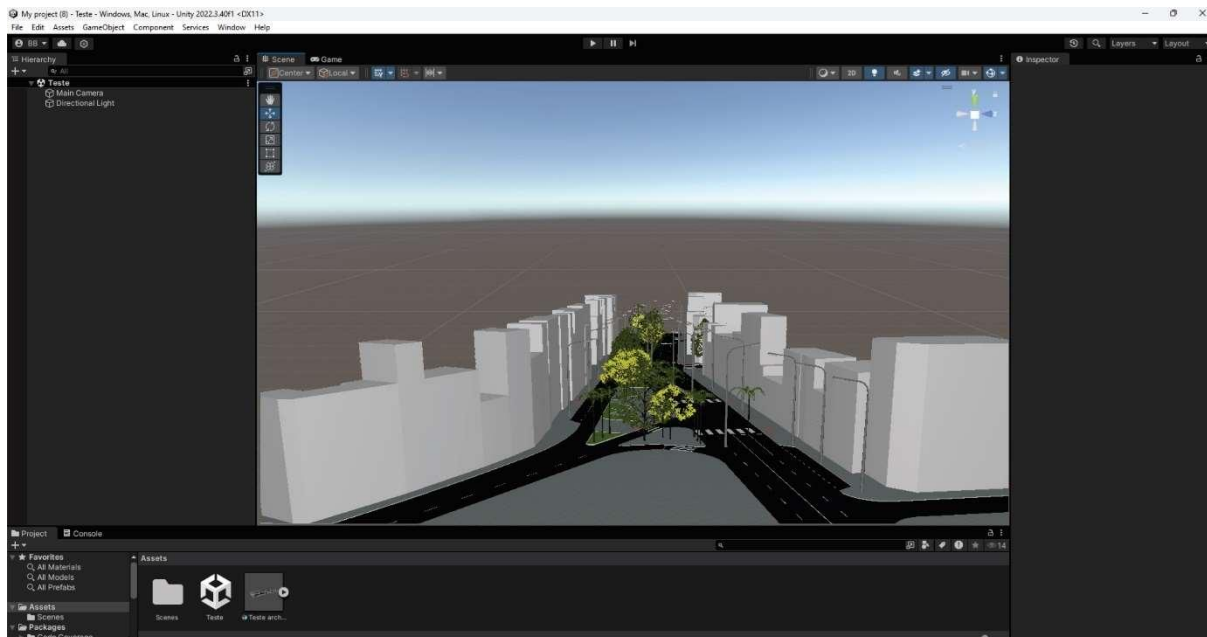


Fonte: Elaborada pela Autora (2024)

Conforme Pinto (2024), tal software é um dos mais conhecidos na modelagem 3D, citados por vários sites como o site oficial do Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil (CAU/BR) e Archdaily. O SketchUP, foi desenvolvido pela Trimble com interface intuitiva e comandos simples “para modelagem de formas e geometrias variadas, com recursos nativos que permitem desenvolver projetos de arquitetura, design de interiores, planejamento urbano e cenários virtuais” (Pinto, 2024, p. 24).

Conforme Padilha, Ferrari (2023) sua modelagem tridimensional tem sido utilizada na criação e planejamento de projetos, devido à sua riqueza de informações a partir de diferentes perspectivas. Tal representação foi exportado para o programa Unity Hub em extensão FBX (Autodesk Filmbox .fbx) (Figura 11), sendo este um aplicativo de Game, sua função foi intermediar a ligação SketchUp com o SUMO. Conforme Bastos, et al (2019) o Unity Hub é um motor gráfico, onde os ambientes 3D estão sendo criados.

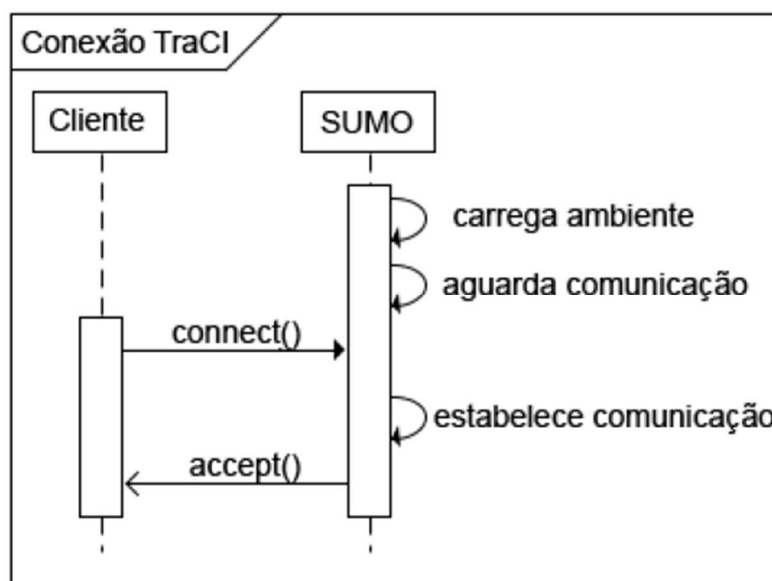
Figura 11 - Foto da modelagem do Unity Hub 3.8.0



Fonte: Elaborada pela Autora (2024)

O Unity foi usado para aprimorar a simulação do percurso, criando interações em tempo real e integração com Metaverso. Após exportação do arquivo .SPK para o Unity, utilizou-se o Traffic Control Interface (TraCI), que permitiu o protocolo de comunicação para acessar informações sobre os objetos simulados no SUMO e também manipulá-los em tempo real. O TraCI é um protocolo de comunicação que disponibiliza para qualquer ferramenta obter informações de elementos simulados no SUMO e também os manipule em tempo real. O TraCI utiliza a arquitetura do Protocolo de Controle de Transmissão (TCP), responsável pela transmissão de dados, com o Protocolo de Internet (IP), TCP/IP baseada em cliente-servidor para disponibilizar acesso à simulação. O SUMO age como servidor, ativo em uma porta remota e aguardando comunicação de uma aplicação externa, como pode-se observar na figura 12 (Heijmeijer, 2016).

Figura 12 – Arquitetura de comunicação entre aplicação externa e SUMO via TraCI



Fonte: Heijmeijer (2016, p.45)

3.3 Procedimento de Simulação e Avaliação

Para realizar a simulação e avaliação do pedestre cego caminhando no SUMO, foi necessário incluir a preparação do cenário urbano, a configuração do comportamento do pedestre e a análise dos dados coletados.

Foi considerado um cenário urbano acessível associado a configuração do pedestre com deficiência visual e a análise dos resultados. O uso de ferramentas como TRACI para monitoramento em tempo real permitiu ajustar a simulação e melhorar a qualidade dos dados para avaliações de acessibilidade urbana.

Foi utilizado os dados da simulação para identificar áreas de risco, como cruzamentos com tempo insuficiente de travessia ou zonas de tráfego intenso que podem representar um perigo para pedestres cegos.

A simulação de pedestres cegos caminhando no SUMO requer a criação de um cenário urbano acessível, a configuração detalhada do comportamento e os dados de deslocamento (trajetória, tempo de travessia, velocidade média).

No projeto tem-se que no cruzamento da Rua Paula Lima com a Avenida dos Andradas, existe um semáforo com temporizador visual de 65 segundos para pedestres, e, na esquina da Paula Lima, consta um temporizador com 60 segundos. Na esquina da Rua Barão de Cataguases com a Avenida dos Andradas também existe

um cruzamento, com o semáforo com temporizador visual de 60 segundos. Na Rua Barão de Cataguazes, o tempo de travessia de pedestre é menor e o temporizador visual é de 10 segundos.

O tempo aproximado de travessia de um pedestre com deficiência visual, será determinado pelo parceiro que lhe ajuda no percurso, podendo chegar a aproximadamente 1 minuto e 20 segundos ou 10 segundos conforme o tamanho da faixa de pedestre e do movimento ao redor. Em travessias de pedestres com sinal sonoro o tempo de caminhada precisar adequar-se a marcha de pessoas com mobilidade reduzida, de 0,4 m/s. Para tanto é necessário que se faça uma avaliação de alguns parâmetros como: calçadas, sinalização, piso tátil direcional, sinalização alerta, vegetação e obstáculos no percurso do projeto simulado (NBR 9050 da ABNT, 2020).

3.4 Critério de Análise da acessibilidade

Elaborar critérios de análise de acessibilidade para pessoas com deficiência visual é um processo fundamental para promover ambientes urbanos mais inclusivos, garantindo autonomia e segurança a todos os cidadãos, e devem ser baseados na ABNT NBR 9050, que traz parâmetros de sinalização tátil, visual e sonoro, organização e segurança do espaço, infraestrutura de mobilidade, acessibilidade no transporte público, tecnologia assistiva.

A cidade de Juiz de Fora cresceu, mas ainda não possui uma política específica voltada para a melhoria da sua mobilidade urbana, quando se trata de acessibilidade para pessoas com deficiência visual. O Plano de Mobilidade Urbana de Juiz de Fora (PLANMOB-JF, 2016) trata como acessibilidade somente os cadeirantes, mesmo assim, confirmando que ainda faltam medidas específicas. “O centro de Juiz de Fora apresenta uma quantidade significativa de rampas de acesso aos passeios, mas a quantidade ainda é insuficiente para permitir um deslocamento adequado aos cadeirantes” (Juiz de Fora, 2016, p. 53).

Tem-se como principal objetivo do PLANMOB-JF (2016) quanto a mobilidade urbana:

A mobilidade urbana é um atributo de Juiz de Fora que se refere à facilidade de deslocamentos de pessoas e bens no espaço urbano. Tais deslocamentos são feitos a pé ou por meio de veículos, motorizados ou não, utilizando-se de

toda a infraestrutura (vias, calçadas, etc.) que possibilita o ir e vir cotidiano. Isso significa que a mobilidade urbana é mais do que o transporte urbano, ou seja, mais do que o conjunto de serviços e meios de deslocamento de pessoas e bens. É o resultado da interação entre os deslocamentos de pessoas e bens com a cidade. A disponibilidade de meios e infraestrutura adequados para os deslocamentos de pessoas e bens numa área da cidade podem ajudar a desenvolver essa área. Do mesmo modo, uma área que se desenvolve vai necessitar de meios e infraestrutura adequados para os deslocamentos das pessoas e bens naquele local (Juiz de Fora, 2016, p. 5).

Buscando contribuir para os andantes, a Prefeitura de Juiz de Fora, através do Decreto nº 11.342, de 21 de setembro de 2012, traz em seus art. 9º e 10 os seguintes parâmetros:

Art. 9 No planejamento e na urbanização das vias, praças, dos logradouros, parques e demais espaços de uso público, deverão ser observados os preceitos do desenho universal e cumpridos, quando houver viabilidade técnica, as exigências dispostas nas normas técnicas de acessibilidade da ABNT. [...] II - o rebaixamento de calçadas com rampas acessíveis ou elevação das vias para travessia de pedestres, em nível; III - a instalação de piso tátil direcional e de alerta. § 2º No caso de inviabilidade técnica manifestada, a mesma deverá ser atestada pela CPA.

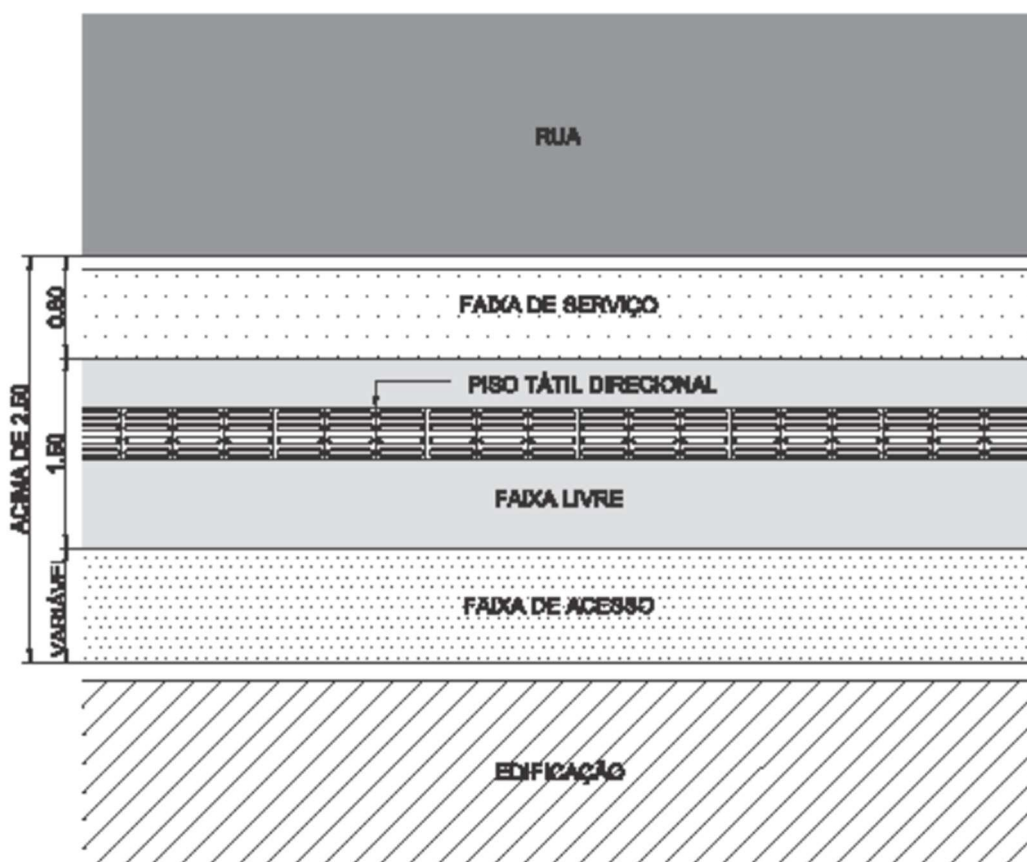
Art. 10. Para fins de atendimento ao artigo anterior, na execução, na manutenção e na conservação dos passeios públicos ou calçadas, bem como na instalação de mobiliário urbano, e na execução de arborização, paisagismo e de quaisquer elementos e atividades que resultem em sua ocupação, devem ser cumpridas as seguintes exigências mínimas, de acordo com a viabilidade técnica do local, nos termos do § 2º do artigo anterior: I - as calçadas para circulação de pedestres terão largura mínima de 2,00m (dois metros), no entanto, deve-se garantir uma largura mínima de 1,20m (um metro e vinte 5 centímetros) para faixa livre e o restante ficará reservado para faixa de serviço ou mobiliário urbano; (Anexo 01 / Desenho 01) II - as calçadas com largura de até 2,50m (dois metros e cinquenta centímetros) serão divididas em duas faixas: a faixa de serviço e a faixa livre

A preocupação com o deficiente visual pela Prefeitura de Juiz de Fora, faz com novas informações sobre mudanças no ambiente urbano que venha favorecer o deslocamento de pessoas com deficiência Visual.

As calçadas seguem especificações conforme padrão apresentado no Decreto nº 11.342 de 2012 (Juiz de Fora, 2012) que dispõe sobre as normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas com deficiência ou com mobilidade reduzida no Município de Juiz de Fora/MG, variando entre 3,40m (três metros e quarenta centímetros) a 5,45m de largura (cinco metros e quarenta e cinco centímetros). Além da faixa de serviço e da faixa livre, uma faixa de acesso localizada entre a faixa livre e a testada do imóvel, com largura variável e superfície regular firme, contínua e antiderrapante, sob qualquer condição climática, não sendo recomendado

o uso de pedras portuguesas, por apresentarem superfícies lisas e escorregadias, com inclinação longitudinal acompanhando o greide de rua, podendo ter no máximo 8,33% (oito vírgula trinta e três por cento) e inclinação transversal constante, igual à faixa livre e não superior a 3% (três por cento) a Figura 13 mostra a calçada padronizada com largura acima de 2,50 m.

Figura 13 – Calçada Padronizada com largura acima de 2,50m (dois metros e cinquenta centímetros)

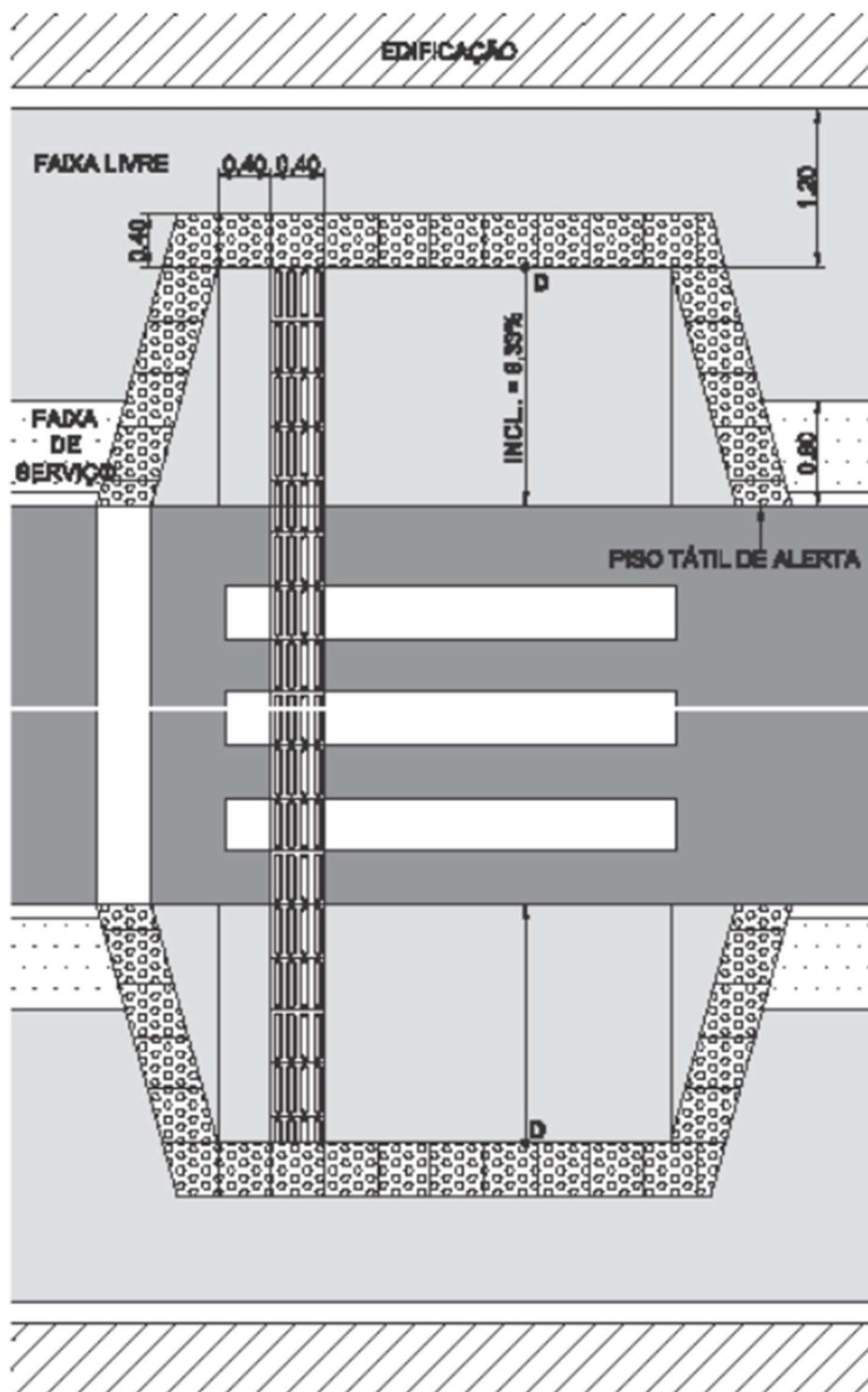


Fonte: Decreto nº 11.342 P/JF (Juiz de Fora, 2012).

Para a construção da rampa de travessia do pedestre, será rebaixado o meio-fio na direção do fluxo de pedestres e com superfície regular, firme, contínua e antiderrapante, sob qualquer condição climática, livre de quaisquer obstáculos, com inclinação máxima de 8,33% (oito vírgula trinta e três por cento) em relação à via com largura equivalente à faixa de pedestres na maioria das travessias (Figura 14), quando esta não for possível, ter largura mínima de 1,20m (um metro e vinte centímetros), sendo recomendável 1,50m (um metro e cinquenta centímetros) (Figura 15), sem

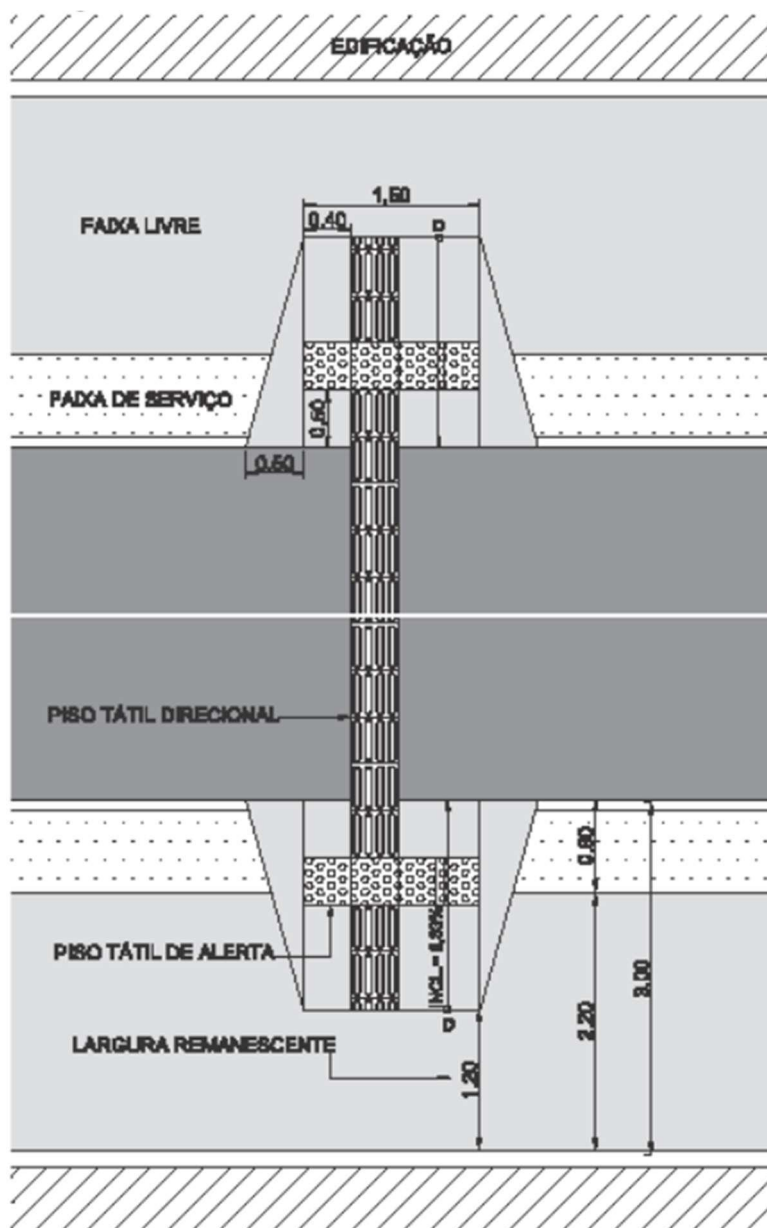
desnível entre a via e o rebaixamento da calçada, sinalizada de forma que o piso tátil direcional contorne a borda externa da rampa (Figura 16).

Figura 14 – Calçada Padronizada rebaixamento de calçadas equivalente a faixa de pedestre.



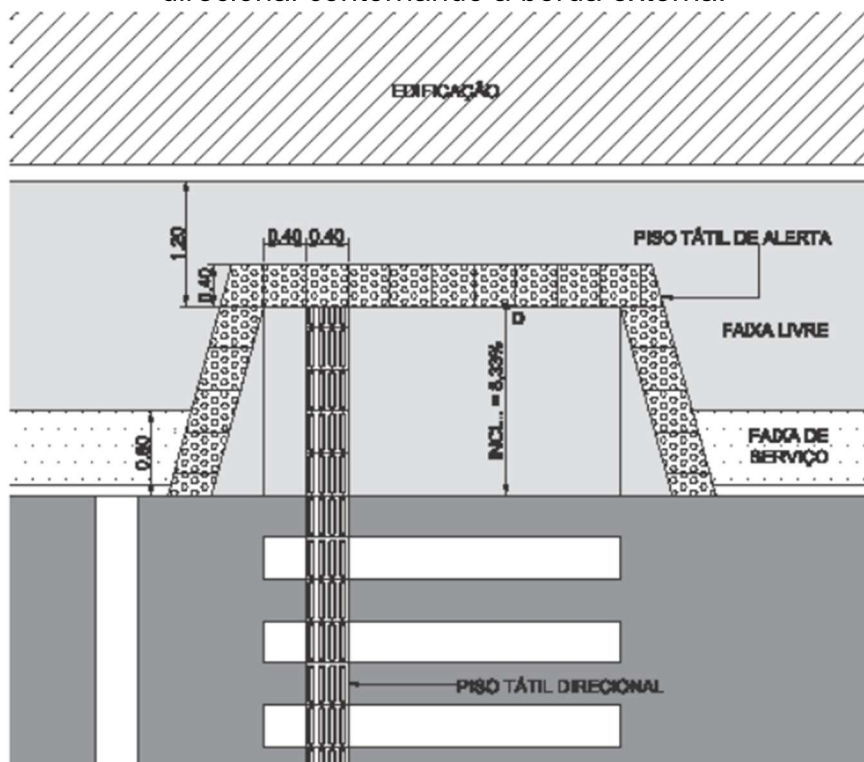
Fonte: Decreto nº 11.342 P/JF (Juiz de Fora, 2012)

Figura 15 – Calçada Padronizada rampa rebaixada com largura de 1,50m (um metro e cinquenta centímetros)



Fonte: Decreto nº 11.342 PJF (Juiz de Fora, 2012)

Figura 16 – Calçada Padronizada rampa rebaixada com sinalização alerta e direcional contornando a borda externa.



Fonte: Decreto nº 11.342 PJF (Juiz de Fora, 2012)

3.5 Coleta e Análise de Dados

Para realizar uma simulação precisa de uma pessoa cega caminhando no SUMO, integrando-a a um ambiente virtual no metaverso, é fundamental desenvolver um processo estruturado de coleta e análise de dados. Essa abordagem garante que a simulação reflita as condições e desafios enfrentados por pessoas cegas no mundo real, possibilitando a exploração de soluções de acessibilidade em um ambiente seguro e controlado.

Através do mapeamento detalhado da área conforme sua projeção real, foi simulado elementos conforme os dados a serem analisados. Dados geoespaciais foram reproduzidos conforme os obtidos no projeto urbano, como a largura das calçadas, a localização das travessias, a presença de sinalizações, a posição de semáforos, elementos como pisos táteis de alerta e direcionais, rampas de acesso.

O Comportamento da Pessoas Cega, foi considerado uma pessoa de nível 6, sem percepção de luz, utilizando uma bengala para detectar obstáculos.

Foi observado que a bengala é uma ferramenta estratégica importante no ajuste da trajetória do deficiente visual para evitar riscos, e uma forma de interação independente com o ambiente urbano, ajudando a modelar a mobilidade de forma mais precisa, refletindo a cautela e os padrões de exploração tátil de pessoas cegas.

3.6 Limitações e Delimitações

Simular um pedestre cego no SUMO apresenta tanto limitações quanto delimitações, que precisam ser consideradas para garantir que os resultados reflitam de forma precisa as condições de acessibilidade e mobilidade urbana.

O SUMO não possui suporte nativo para modelar especificamente o comportamento de pedestres com deficiência visual. Embora seja possível ajustar a velocidade e as rotas, o software não oferece um modelo que capture adequadamente como uma pessoa cega navega pelo ambiente, especialmente em relação à interação com elementos sensoriais como guias táteis e obstáculos. O software não modela a hesitação, a busca por guias táteis ou a resposta a estímulos auditivos que são típicos de pedestres com deficiência visual e também não simula adequadamente o uso de bengalas ou de cães-guia, que são fundamentais para a navegação segura de pessoas cegas.

Os pedestres no SUMO são modelados com regras básicas de movimentação (velocidade, rota, aceleração). No entanto, pedestres cegos têm comportamentos complexos e variáveis, como tomar mais tempo para tomar decisões em ambientes desconhecidos ou lidar com multidões, fatores que não são adequadamente simulados.

A simulação deve ser focada em aspectos específicos da mobilidade, como a travessia de ruas e a utilização de calçadas acessíveis. Isso permite uma análise mais controlada e objetiva dos impactos da infraestrutura na mobilidade dos pedestres cegos.

4 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

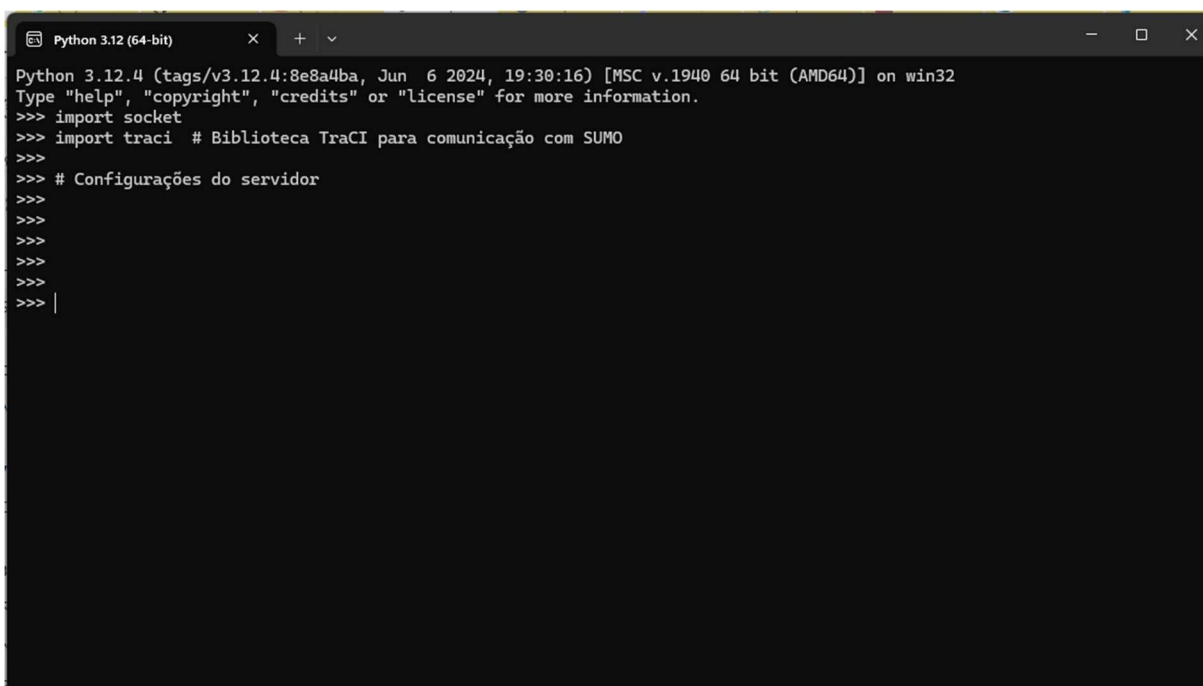
4.1 Configuração dos cenários de simulação

Para configurar um cenário no SUMO onde uma pessoa cega está caminhando, é necessário ajustar alguns parâmetros específicos, tanto para simular o comportamento de um pedestre cego quanto para definir o ambiente e as interações necessárias. Como o SUMO não tem um modelo nativo de simulação de pedestres cegos, é necessário personalizar o comportamento dos pedestres, ajustando rotas e interações.

O SUMO opera essencialmente com a combinação de três tipos de arquivos: o de rede, o de rotas e o de configuração. É importante destacar que todas as configurações e características utilizadas são as necessárias para avaliar a proposta do projeto de Revitalização Urbano da Avenida dos Andradas, considerando o pedestre, um deficiente visual caminhando com auxílio de uma bengala.

Para possibilitar a comunicação em tempo real entre o simulador de tráfego microscópico SUMO e o mecanismo de jogo 3D Unity 3D foi utilizado o servidor de TCP baseado em Python 3.12. (Figura 17) para configuração do SUMO.

Figura 17 – Interface Python 3.12.



```
Python 3.12 (64-bit) x + v - □ x
Python 3.12.4 (tags/v3.12.4:8e8a4ba, Jun 6 2024, 19:30:16) [MSC v.1940 64 bit (AMD64)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.
>>> import socket
>>> import traci # Biblioteca TraCI para comunicação com SUMO
>>>
>>> # Configurações do servidor
>>>
>>>
>>>
>>>
>>>
>>> |
```

Fonte: Elaborada pela Autora (2024).

O projeto foi executado de forma independente.

Primeiro é feita toda a configuração dos parâmetros do pedestre no SUMO. O SUMO foi instalado em C:\Sumo no mesmo nível que as pastas executáveis do Python_source. Em relação à escolha da velocidade do pedestre foi considerado 0,8 m/s, velocidade mais baixa que a média para seres humanos 1 m/s (Veloso, 2021), considerando o ritmo reduzido de uma pessoa cega caminhante com cautela.

O valor de 200 metros é a extensão configurada da distância entre os pontos de estudo (Associação dos Cegos e Hemocentro Regional). A configuração das ruas, pontos de interesses e demais elementos foram feitos nos arquivos '.net.xml' do SUMO, utilizando como base a modelagem do ambiente no software SketchUp utilizando o desenho base em AutoCAD.

Na simulação do cenário, notou-se que a modelagem da disposição das sinalizações específicas para portadores de deficiências visuais, presente na calçada do novo projeto, como piso táteis, alerta, e rampas, contribuíram significativamente no percurso. A instalação de faixas táteis ajuda na orientação e as superfícies indicam a direção ou alertar sobre mudanças de nível.

A aplicação externa envia comandos para controlar a simulação no SUMO, modifica o comportamento do deficiente visual, obtém informações do ambiente em geral, entre outras ações. (Figura 18)

Figura 18 – Comunicação em tempo real entre o SUMO/UNITY 3D



Fonte: Elaborada pela Autora (2024)

O Python estabelece a comunicação entre o SUMO e o Unity 3D. O Python se comunica com o SUMO usando a interface TRACI. Ele lê os parâmetros configurados dos elementos dentro da simulação e os armazena como objetos. O código Python também cria um servidor TCP para se comunicar com o Unity 3D.

O Unity 3D é responsável pela visualização. As mensagens TCP recebidas são divididas em informações do pedestre. Elas servem como base do movimento. A tarefa do Unity é posicionar, movimentar e criar animação. O projeto Unity contém o ambiente virtual e scripts.

4.2 Processos de simulação e Resultados Preliminares

A simulação de travessia de pessoas cegas em um cenário que integre o SUMO ao metaverso, ou seja, uma simulação de tráfego urbano no SUMO com uma experiência imersiva no metaverso, apresenta várias vantagens e desafios, com aspectos positivos e negativos.

Entre os pontos positivos, os usuários podem ter uma experiência imersiva simulando a travessia de pessoas cegas, possibilitando um entendimento mais profundo das dificuldades e desafio que esse grupo de pessoas enfrentam, além de permitir interações táteis e auditivas, como sons de semáforos sonoros, pisos táteis e até o comportamento de outros pedestres e veículos, possibilitando testar diferentes soluções de acessibilidade, como a implementação de novos designs de travessias, semáforos adaptados ou áreas específicas para o uso de cães-guia.

Embora a imersão no metaverso seja útil, simular de forma realista o comportamento de pessoas cegas no trânsito ainda é um desafio técnico. A criação de algoritmos que imitem a navegação de uma pessoa cega, que se baseia em informações auditivas.

Embora o metaverso traga maior imersão, ainda é difícil simular alguns fatores do mundo real que afetam as travessias de pessoas cegas, como a variação na intensidade do som em ambientes urbanos barulhentos ou condições climáticas como chuva e vento, que podem influenciar diretamente a navegação de uma pessoa cega.

4.3 Análise de Dados Obtidos

A análise de dados obtidos na simulação de uma pessoa cega utilizando o SUMO foi observado que o metaverso é essencial para avaliar a eficácia das soluções de acessibilidade propostas e entender o comportamento de navegação de pessoas com deficiência visual em ambientes urbanos complexos. Uma análise estatística por exemplo, pode revelar insights importantes sobre o comportamento da pessoa cega na simulação com relação a distribuição de paradas, padrão de média e desvio.

Ao criar o ambiente virtual, observou-se que o ambiente real simulado poderia se tornar mais acessível com a implantação de sistemas de sinalização sonora, onde os semáforos emitem sons para indicar quando é seguro atravessar, fazendo com que o deficiente visual não dependa de outro pedestre para auxiliá-lo, reduzindo dessa forma seu tempo de travessia, e até mesmo incluir suporte a tecnologias assistivas, como leitores de tela e navegação por voz. Essas tecnologias assistivas podem aumentar significativamente a autonomia e a segurança de pessoas cegas ou com deficiência visual, promovendo uma mobilidade mais independente e eficiente.

5 DISCUSSÃO

5.1 Interpretação dos resultados

A pesquisa revelou que o uso do SUMO integrado ao Unity 3D apresenta potencial significativo para avaliar a acessibilidade urbana de pessoas com deficiência visual. O desenvolvimento de cenários de simulação permitiu configurar comportamentos específicos, como o deslocamento cauteloso de um pedestre cego com auxílio de bengala, e testar as condições de infraestrutura, como faixas táteis e sinalizações sonoras. A modelagem realista no SUMO, associada à visualização imersiva no Unity, demonstrou que melhorias em projetos urbanos, como a Avenida dos Andradas, podem impactar positivamente a mobilidade dessa população.

Os testes evidenciaram que elementos como pisos táteis e semáforos sonoros facilitam a navegação de pedestres cegos, proporcionando maior autonomia. Na simulação, o ritmo reduzido de 0,8 m/s foi adequado para representar a locomoção cautelosa de uma pessoa cega, permitindo a análise detalhada das interações com o ambiente. Além disso, o estudo confirmou que soluções como rampas acessíveis e alertas de mudança de nível otimizam a experiência de travessia, reduzindo dificuldades e aumentando a segurança.

A análise dos dados também destacou desafios técnicos na criação de algoritmos que simulam comportamentos humanos complexos, como a navegação baseada em sons e texturas. Embora o metaverso traga uma imersão útil, limitações como a dificuldade em simular variações climáticas e ruídos urbanos indicam a necessidade de aprimoramentos nos modelos de simulação. Esses ajustes podem tornar as representações ainda mais próximas da realidade, ampliando a validade das soluções testadas.

A integração do SUMO com o Unity 3D revelou ainda o impacto positivo das tecnologias assistivas na mobilidade urbana. Sistemas de navegação por voz e leitores de tela, incorporados à simulação, demonstraram como essas ferramentas podem ampliar a independência de pessoas cegas. As simulações mostraram que o uso combinado de soluções físicas e tecnológicas pode transformar ambientes urbanos em locais mais inclusivos e funcionais.

Os resultados preliminares sugerem que o uso de simulações urbanas imersivas pode influenciar diretamente o planejamento urbano e a implementação de

políticas públicas voltadas para a acessibilidade. Projetos futuros podem explorar melhorias nos algoritmos de comportamento e expandir os cenários simulados para diferentes contextos urbanos. Dessa forma, a pesquisa reafirma a importância da tecnologia no desenvolvimento de soluções efetivas para a inclusão de pessoas com deficiência visual.

5.2 Eficácia dos softwares e metodologia

A eficácia do SUMO na simulação de uma pessoa cega em um ambiente urbano depende de configurações e adaptações que ampliem suas funcionalidades padrão. Ele é eficaz para simular movimentos básicos e interações, especialmente com a ajuda do TraCI para ajustes em tempo real. Contudo, para alcançar uma simulação totalmente realista que incorpore feedback sensorial, é essencial combinar o SUMO ao Unity para uma análise imersiva. O SUMO é eficiente na personalização do comportamento, a plataforma permite ajustar parâmetros como velocidade, rotas preferidas, e tempo de espera, o que é útil para simular diferentes perfis de pedestres, incluindo pessoas cegas. - Interação em Tempo Real (TraCI). A interface TraCI permite a coleta e ajuste de dados em tempo real, oferecendo flexibilidade na adaptação de comportamentos conforme a simulação evolui.

5.3 Limitações dos softwares e metodologia

A simulação de pedestres em ambientes urbanos usando o SUMO e o metaverso através do Unity apresenta várias limitações que devem ser consideradas para uma análise precisa e útil. A metodologia para condução dessas simulações também enfrenta desafios quando se trata de pedestres com características específicas de deficiência visual. O SUMO é ideal para simulações de tráfego em larga escala, podendo ter limitações por exemplo, na representação de detalhes finos de infraestrutura urbana, como a irregularidades do terreno ou texturas táteis, ele não possui suporte nativo para simular a percepção sensorial do pedestre, como sons ambientais ou feedback tátil, o que é importante para simular a experiência de uma pessoa cega. Além disso, embora seja possível ajustar rotas, velocidades, e padrões de desvio, o comportamento de pedestres no SUMO é baseado em modelos

predefinidos e pode não capturar nuances específicas, como hesitações ou respostas adaptativas a mudanças inesperadas no ambiente.

5.4 Implicações para o Design de espaços públicos

A simulação de ambientes urbanos pode ser uma ferramenta poderosa no design de espaços públicos, oferecendo diversas vantagens para a criação de ambientes mais seguros, funcionais e inclusivos. A ferramenta de simulações de otimização do layout urbano pode auxiliar na análise de fluxo e mobilidade, através do estudo do comportamento de pedestres e veículos, as simulações de avaliação de sinalização, orientação e orientação, são importantes testes de acessibilidade e inclusão, as simulações de evacuações e áreas perigosas contribuem para o planejamento de emergência e segurança, as simulações de microclima modelagem de ruído e poluição avaliam o conforto e qualidade ambiental e a visualização imersiva do projeto o engajamento e a participação comunitária.

5.5 Recomendações para futuras pesquisas

Dada a relevância e o potencial transformador do metaverso para a mobilidade urbana inclusiva, diversas direções podem ser exploradas em estudos futuros. É essencial investigar métodos para projetar ambientes virtuais no metaverso que sejam acessíveis e inclusivos para pessoas com deficiência visual, assegurando que a navegação e a interação nesses espaços sejam intuitivas e eficientes. Essa abordagem deve considerar tanto aspectos técnicos quanto perceptuais, de forma a oferecer uma experiência imersiva que não dependa exclusivamente de estímulos visuais.

Outro aspecto promissor é a adaptação de interações sociais no metaverso para incluir usuários cegos, promovendo a comunicação por meio de ferramentas acessíveis, como assistentes de voz, feedback tátil e representações auditivas dos avatares. Essas soluções podem não apenas ampliar a inclusão social, mas também oferecer novas formas de interação que transcendam as limitações impostas pela deficiência visual.

Além disso, o desenvolvimento de programas educacionais no metaverso voltados para o ensino de habilidades de mobilidade e orientação para pessoas cegas constitui uma área de grande potencial. Essas simulações poderiam permitir que os usuários experimentassem cenários urbanos complexos de forma controlada, aprendendo a navegar com maior segurança e autonomia.

Outro campo de pesquisa envolve a integração de feedback sonoro detalhado e responsivo em ambientes virtuais, de modo a aprimorar a percepção espacial e a interação dos usuários cegos. Estudos podem avaliar como elementos sonoros, como ecos, variações tonais e notificações auditivas, podem simular a percepção tátil e visual ausente, permitindo que os usuários compreendam o espaço virtual de maneira mais eficaz.

Finalmente, é recomendável explorar a eficácia de tecnologias assistivas, como dispositivos de navegação por GPS e aplicativos de smartphone, dentro de simulações que reproduzem as condições vivenciadas por pedestres cegos no metaverso. Essas pesquisas podem avaliar como essas ferramentas podem ser integradas ao ambiente virtual para ampliar a autonomia e a qualidade da experiência do usuário, além de identificar barreiras específicas que precisam ser superadas para garantir o sucesso dessa integração.

Essas direções destacam a importância de aliar os avanços tecnológicos à inclusão social, contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais abrangentes e eficazes no campo da acessibilidade e da mobilidade urbana.

CONCLUSÃO

O presente trabalho alcançou os objetivos propostos ao explorar como o metaverso pode ser uma ferramenta valiosa para a mobilidade urbana, especialmente no contexto de pessoas com deficiência visual. Durante simulação verificou-se que a experiência em tempo real, pode contribuir para tomadas de decisão, em relação ao meio urbano, quando programado para acesso de pessoas com deficiência visual.

A adaptação do Simulador de Mobilidade Urbana (SUMO) para integração com o metaverso demonstrada é uma abordagem eficaz para apoiar a tomada de decisões em projetos de sistemas urbanos, permitindo a criação de cenários mais inclusivos e acessíveis.

Além disso, o estudo evidenciou que o metaverso contribui significativamente para a simulação de experiências realistas de mobilidade, proporcionando um ambiente seguro para o teste e aprimoramento de soluções que beneficiam diretamente as deficiências visuais. Ao utilizar tecnologias imersivas, foi possível simular e avaliar com precisão as dificuldades enfrentadas por esse grupo, facilitando a proposição de melhorias concretas no planejamento urbano e na infraestrutura de transporte. Esses resultados reforçam a importância do metaverso como uma ferramenta complementar para o desenvolvimento das cidades mais inclusivas e acessíveis, possibilitando um avanço significativo na mobilidade urbana e na qualidade de vida das pessoas com deficiência.

Pode-se dizer que a que este trabalho também contribuiu para comprovar a melhoria em relação a mobilidade do pedestre no que diz respeito aos deficientes visuais, com relação ao projeto de Reestruturação Urbanoviária da Avenida dos Andradas de Juiz de Fora.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Fabíola de Oliveira. **Acessibilidade relativa dos espaços urbanos para pedestres com restrição de mobilidade**. Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, para o grau de Doutro em Ciências. São Carlos, 2010.

ALVES, Evelyn Cortez, et al. Utilização de ferramentas de microsimulação em projetos de mobilidade urbana . In- **Tecnologia & Cultura**. nº 31, p. 65-76. 2018. Rio de Janeiro : Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2018

ANDRADE, Thaina Barbosa de, et al.. **Metaverso como ferramenta de auxílio às empresas de arquitetura**, 2023. Trabalho de conclusão de curso (Curso Técnico em administração) - Escola Técnica Estadual ETEC Irmã Agostina (Jardim Satélite - São Paulo), São Paulo, 2023.

ANGELOVA, D.D. et al. Review on Digital Twins and Its Application in the Modeling of Photovoltaic Installations. **Energies**, v. 17, n. 2, p. 1-9, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en17051227>

AZEVEDO, Gislaine Alves. **Análise da acessibilidade da primeira e última milha de pessoas com deficiência (PcD) e idosos que utilizam o transporte de ônibus público na cidade de São Paulo diante de condições climáticas com a chuva**. Projeto de Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial, Curso de Mestrado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial do Centro Universitário Senai Cimatec, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial. Salvador, 2020.

BARRETO, André Filipe Sousa. **Uso do simulador SUMO na avaliação de aplicações de mobilidade em cidades inteligentes**. Monografia apresentada ao curso de Ciência da Computação da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação. São Luiz, 2023.

BARROS, Ana Paula Borba Gonçalves. **Diz-me como andas que te direi onde estás**: a inserção do aspecto relacional na análise da mobilidade urbana para o pedestre. Tese submetida aos departamentos de engenharia civil e ambiental/de engenharia, arquitetura e georrecursos da Faculdade de Tecnologia/Instituto Superior Técnico Das Universidades De Brasília/de Lisboa como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de doutor em transportes/sistemas de transportes. Brasília, 2014.

BASTOS, Ian Nantes Linares et al. SMEC3D-Mobi: um jogo para Estimulação Cognitiva em plataforma móvel. In: **Anais Estendidos do XXI Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada**. SBC, 2019. Disponível em:

https://sol.sbc.org.br/index.php/svr_estendido/article/view/8461/8362. Acesso em: 08 ago. 2024.

BATTY, Michael. Digital twins. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**. 2018. Disponível em <https://doi.org/10.1177/2399808318796416>. Acesso em: 08 ago. 2024.

BETINNI, Lúcia Helena Polleti. Direitos humanos na era digital: a utilização do metaverso para inclusão e acessibilidade da pessoa com deficiência. **VII Congresso Internacional de Direitos Humanos de Coimbra**. 2022. Disponível em https://www.cidhcoimbra.com/_files/ugd/8f3de9_232734456abd43bdb2afeead7e632. Acesso em: 08 ago. 2024.

BHAT, C. et al. **Urban accessibility index: literature review**. Austin: Texas Department of Transportation, 2000.

BLUM, Renato Müller da Silva Opice. **Metaverso e acessibilidade**: a importância da arquitetura inclusiva. São Paulo, 13 set. 2022. Disponível em: <https://febrabantech.febraban.org.br/especialista/renato-opice-blum/metaverso-e-acessibilidade-a-importancia-da-arquitetura-inclusiva>. Acesso em: 26 jul. 2024

BRASIL. **Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)**. NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. 2020.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE**, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/juiz-de-fora/panorama>. Acesso em: 18 jul. 2024

BRASIL. Lei nº 13.146 de 6 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência, 2015. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm. Acesso em: 16 set. 2024

BRASIL. **Mobilidade a pé**. Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID e Ministério do Desenvolvimento Regional – MDR Global Environment Facility – GEF– Brasília: Editora IABS, 2020

COSTA, Caio Túlio. Anotações sobre o metaverso. **Revista USP**, n. 134, p. 197-222, 2022. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.i134p197-222>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/202417>. Acesso em: 16 jul. 2024

COUTINHO, F. M., et al. Impacts of replacing a fixed public transport line by a demand responsive transport system: Case study of a rural area in Amsterdam. **Research in Transportation Economics**, v 83, n.1, p. 1-11, 2020. Doi:10.1016/j.retrec.2020.100910

CYBIS, H. B. B.; JACOBSEN, A. C. Microsimulação da travessia de pedestres: coleta de dados para calibração de modelos. **Transportes**, v. 19, n. 2, p. 79–86, 2011. DOI: 10.14295/transportes.v19i2.509. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/509>. Acesso em: 17 ago. 2024.

DAVID, Jéssica da Silva; ANTUNES, Ximene Martins; GURGEL, Verônica Torres. Cidade Acessível: Igualdade de Direitos e Particularidades da Pessoa com Deficiência Visual. **Mnemosine**, v. 5, n. 1, 2009. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/mnemosine/article/view/41423>. Acesso em: 24 jul. 2024.

DIELEMAN, F. M. Urban Mobility and Urban Social Inequality. In: C. Curtis (Ed.), **Research in Urban Sociology**, Volume 18. Emerald Group Publishing Limited, 2018.

FELIPE, Mariana Oliveira; BAPTISTA, Arthur Henrique Neves. Avaliação da acessibilidade efetiva na Rua Afonso Pena. **Blucher Design Proceedings**, v. 2, n. 7, p. 585-596, 2016. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/89269067/ACE07-2-libre.pdf?1659633964=&response-content>. Acesso em: 23 jul. 2024

FERRI, Josiane Troleiz; MANTOVANI, Ana Margô. Construção do espaço digital virtual em três dimensões do unilasalle no metaverso second life. **CINTED. Novas Tecnologias na Educação**, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2011. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/renote/article/view/21963/12736>. Acesso em: 26 jul. 2024

GEHL, Jan. **Cidades para pessoas**. São Paulo: Perspectiva, 2013.

GIL, Marta. **Deficiência visual. Brasília**: MEC. Secretaria de Educação a Distância, 2000. (Cadernos da TV Escola. 1. ISSN 1518-4692). Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seed/arquivos/pdf/deficienciavisual.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2024

GODOY, Fernando. **Metaverso**: como gerar oportunidades e fazer negócios na Web3. São Paulo: Buzz Editora. 2022.

GORDON, Eric. **The Geography of Virtual Worlds. Space and Culture**, Volume 11. Sage Publications, 2008.

HEIJMEIJER, Alexis Van Haare. **Interligação entre a ferramenta de simulação sumo e o projeto MAPS**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação, do Departamento Acadêmico de Informática, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2016

HILLIS, Ken. **Sensações digitais**: espaço, identidade e corporificações na realidade virtual. Porto Alegre; 2003

JUIZ DE FORA. **Decreto nº 11.342, de 21 de setembro de 2012**. Regulamenta a Lei nº 10.410, de 20 de março de 2003, que dispõe sobre as normas gerais e

critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas com deficiência ou com mobilidade reduzida no Município de Juiz de Fora/MG. 2012.

JUIZ DE FORA. **Lei Complementar nº 082 - de 03 de julho de 2018**. Dispõe sobre a Política de Desenvolvimento Urbano e Territorial, o Sistema Municipal de Planejamento do Território e a revisão do PDP/JF de Juiz de Fora conforme o disposto na Constituição Federal e no Estatuto da Cidade e dá outras providências. Projeto de autoria do Executivo, Mensagem nº 4267/2016, 2018.

JUIZ DE FORA. Prefeitura Municipal de Juiz de Fora. **Plano de Mobilidade Urbana de Juiz de Fora (PLANMOB-JF)**. Secretaria de Transporte e Trânsito (SETTRA), Julho de 2016. Disponível em: https://www.pjf.mg.gov.br/secretarias/smu/servicos/arquivos/plano_mobilidade_151216.pdf. Acesso em: 25 jul. 2024

KEFFER, Welington; MELO, Douglas Christian Ferrari de; ZATTERA, Vilson. O processo de leitura e escrita de partituras e os desafios da cegueira congênita na perspectiva de Vigotski. **Revista da Abem**, v. 29, p. 28-46, 2021. Disponível em: <https://revistaabem.abem.mus.br/revistaabem/article/view/971/596>. Acesso em: 23 jul. 2024

LAGE, A. O, et al. Aspectos multifatoriais da mobilidade e mobilidade urbana do idoso na cidade de São Paulo. **Revista Kairós-Gerontologia**, v. 23, n. 4, p. 45–64, 2020. DOI: 10.23925/2176-901X.2020v23i4p45-64. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/kairos/article/view/51975>. Acesso em: 18 jul. 2024.

LEI, Binyu et al. Challenges of urban digital twins: A systematic review and a Delphi expert survey. **Automation in Construction**, v. 147, p. 104716, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580522005866>. Acesso em: 26 jul. 2024

LOPEZ, Pablo Alvarez, et al. Microscopic traffic simulation using sumo. In **21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)**, Maui, Hawaii, USA, pages, 2575–2582. IEEE, 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8569938>. Acesso em 26 jul. 2024

MARTINS, Hugo Leandro Fontes. **Tendências Futuras na Mobilidade Urbana: Áreas de Intervenção do Design no Contexto da Cidade**. Dissertação de Mestrado em Design de Produto e Serviços, Universidade do Moinho, Portugal, 2023. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/d282f2453836a64f465378829e0ce398>. Acesso em 26 jul. 2024

MARTINS, Víctor Miranda Rios. **Acessibilidade para deficientes visuais: alguns apontamentos gerais sobre a rede bancária de Três Lagoas/2023**. Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campus de Três Lagoas (CPTL), como requisito para obtenção do título de Bacharelado em Geografia. Três Lagoas, 2023.

MENDES, R. M.; GOMES, A. A. S.; CAPORALE, S. M. M.. A Deficiência Visual e a Baixa Visão: estado da arte das pesquisas acadêmicas em Educação Matemática.

Bolema: Boletim de Educação Matemática, v. 35, n. 69, p. 413–431, jan. 2021.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/bolema/a/zW5rfb665sFqmFz9wD8zxRd/?lang=pt>. Acesso em: 23 nov. 2024

MOURA, Alan Bronny Almeida Pires de; MACHADO, Pedro José de Oliveira; ZAIDAN, Ricardo Tavares. Ordenamento Territorial de Juiz de Fora/MG: Uma Análise das Divisões Territoriais Urbanas. **Revista de Geografia – PPGeo-UFJF**. Juiz de Fora, v. 7, nº 1, jan./jun., p. 91-106, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/18052/9344>. Acesso em: 16 jul. 2024.

NASCIMENTO, Silvia Augusta. **Dinâmica imobiliária e estruturação espacial da cidade de Juiz de Fora, MG**: um panorama de longo prazo, 1950 a 2010. Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor. Área de Concentração: Produção e Gestão do Ambiente Urbano, Juiz de Fora, 2019.

PADILHA, Rafael Rambaldi Borges; FERRARI, Jéferson Luiz. Aplicação do sketchup na modelagem 3d do setor de aquicultura do IFES - campus de alegre: uma abordagem computacional. Trabalho Final de Curso de Bacharelado em Engenharia de Aquicultura do IFES , Campus de Alegre, 2023.

PAIS, Flávio Vasconcelos. **Avaliação de desempenho do tráfego urbano usando simulação**: estudo de caso em Maceió. Dissertação (mestrado em informática) - Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Computação. Maceió, 2022.

PAPADIMITRIOU, Eleonora; YANNIS, George; GOLIAS, John. A critical assessment of pedestrian behaviour models. **Transportation research part F: traffic psychology and behaviour**, v. 12, n. 3, p. 242-255, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369847808001046?via%3Dihub>. Acesso em: 17 ago. 2024.

PERDIGÃO, Diego Caruzo et al. **Criação de experiências positivas e aumento de demanda de passageiros para o transporte por ônibus na RMRJ**. 2020. 156 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão do Negócio) - Fundação Dom Cabral; Instituto de Transporte e Logística, Rio de Janeiro, 2020.

PINTO, Bruno Alcantara. **Softwares para o campo da arquitetura**: Um estudo dos softwares mais utilizados por escritórios, seus desafios e potencialidades. Projeto de Pesquisa para Trabalho Final de Graduação apresentado à disciplina de Trabalho Final de Graduação II (ARQ-381). Ouro Preto, 2024.

PRATES, Medeiros De Azevedo Daniela; PESSEL, Edson Roberto Martins. Inclusão escolar: narrativas de pessoa com deficiência visual. **Cadernos do Aplicação**, Porto Alegre, v. 35, 2022. DOI: 10.22456/2595-4377.125106. Disponível em:

<https://seer.ufrgs.br/index.php/CadernosdoAplicacao/article/view/125106>. Acesso em: 17 set. 2024.

RADOFF, John. **The Metaverse Value-Chain**. 2021. Disponível em: <https://medium.com/building-the-metaverse/the-metaversevalue-chain-afcf9e09e3a7>. Acesso em: 20 jul, 2024

RODRIGUES, Amanda Amorim, et al. . Ensaio sobre a aderência ao modelo nacional de bengala eletrônica Smart Mobb® como recurso auxiliar à mobilidade de pessoas com cegueira ou baixa visão. **J Bras Econ Saúde**, v. 13n .1, p. 49-54, 2021. Disponível em: <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2021/06/1252714/doi-1021115-jbesv13n1p49-54.pdf>

SAVINO, Gian-Luca et al. Me aponte na direção certa: Entendendo o comportamento do usuário com navegação em linha reta. Em: **22ª Conferência Internacional sobre Interação Humano-Computador com Dispositivos Móveis e Serviços** . 2020. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3379503.3403539>. Acesso em: 26 jul. 2024

SILVA JÚNIOR, Luiz Gilberto **Acessibilidade para deficientes visuais: Avaliação do desempenho da caminhada em espaços públicos de Pelotas/RS**. Dissertação aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2020.

SILVA, Lucas Sell da Análise operacional de um corredor urbano utilizando simulação de tráfego. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2019.

SILVA, Marina Laisa Mota da. **Avaliação de cenários com as alterações do plano de mobilidade urbana através de simulação: caso de uso para a cidade de Santa Maria**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO, Área de Concentração em Ciência da Computação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência Da Computação. Santa Maria, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/26220/DIS_PPGCC_2022_SILVA_MARINA.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 16 jul. 2024

SIMÕES, J. C.. Arquitetura e jogos digitais: Contribuição da indústria dos jogos para a arquitetura. **Portal de Trabalhos Acadêmicos**,v. 14, n. 1, 2023. Disponível em: <https://revistas.faculdedamas.edu.br/index.php/academico/article/view/2493>. Acesso em: 17 jul. 2024.

TAVARES, E. M.; AVELAR, K. E. S. Mobilidade urbana sustentável: a importância do uso do transporte compartilhado e o impacto ao meio ambiente. **Revista Augustus**, v. 59, n. 32, p. 190-199, 2023. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9462000>. Acesso em: 23 set. 2024

TIBÚRCIO, Flávia, et al. O futuro do digital está na conexão com o real: Metaverso e suas implicações sociais e tecnológicas. *In: workshop sobre as implicações da computação na sociedade (WICS)*, 3. , 2022, Niterói. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2022 . p. 76-84. ISSN 2763-8707. DOI: <https://doi.org/10.5753/wics.2022.222830>.

TOLEDO, Luciano Augusto et al. Metaverso: um jardim de oportunidades e um labirinto de desafios para as empresas. **Ciências Sociais Aplicadas em Revista**, v. 26, n. 46, p. 193-209, 2023. Disponível em: <https://e- revista.unioeste.br/index.php/csaemrevista/article/view/30688/22593>. Acesso em: 17 ago. 2024

UMBELINO, Cristiano Caixeta. **As condições de saúde ocular**. 1. ed. São Paulo, SP : CBO, 2023. Disponível em: https://www.cbo.net.br/admin/docs_upload/Condicoesdesaudeocularnobrasil.pdf. Acesso em: 17 set. 2024.

VELOSO, Ana Luísa Corrêa Pires. **O pedestre no protagonismo da mobilidade urbana**: as condições de caminhabilidade no espaço urbano de Montes Claros/MG. Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Associado UFMG/UNIMONTES em Sociedade, Ambiente e Território (PPGSAT) como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Planejamento Urbano e Regional. Montes Claros, 2021

VILARINHO, Cristina Alexandra Teixeira. Calibração De Modelos Microscópicos De Simulação De Tráfego Em Redes Urbanas. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil, Especialização em Vias de Comunicação, 2008.

World Health Organisation (WHO). World report on vision. Geneva: WHO; 2019. v. 214.

ANEXO 01 – Reestruturação Urbanoviária da Avenida dos Andradas trecho correspondido entre as Ruas Antônio José Martins e Barão de Cataguás

