

## **REALIDADE VIRTUAL EM PESQUISA DE PREFERÊNCIA DECLARADA PARA AVALIAÇÃO DA CAMINHABILIDADE**

**Giovana Facchini**

**Fernanda Abreu Cândido dos Santos**

**Mariana Lovato dos Santos**

**Ana Margarita Larranaga Uriarte**

**Daniel Sergio Presta García**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Laboratório de Sistemas de Transportes (LASTRAN)

### **RESUMO**

Esse estudo investigou o uso da Realidade Virtual em pesquisa de preferência declarada (PD) para quantificar características urbanas que estimulam a caminhabilidade e analisar o efeito do Simulator Sickness (SS). As características foram representadas em cenários virtuais em pesquisa PD, através de vídeos, em pesquisa online, e cenários tridimensionais imersivos, presencialmente. Modelos logit multinomial e mistos foram estimados para quantificar e comparar a importância das características. Os resultados mostraram concordância moderada entre as escolhas realizadas nas duas pesquisas. Adicionalmente, a ocorrência de sintomas de SS não influenciou na escolha dos participantes. Os modelos indicaram que atributos como Atratividade e Qualidade do pavimento foram os mais valorizados, diferentemente de outras pesquisas anteriores na mesma cidade com imagens e textos, onde esses aspectos não apresentaram tanta relevância. Aspectos como Comércio e Risco de acidentes apresentaram diferentes relevâncias entre as técnicas, levantando desafios na representação gráfica desses atributos para melhor apresentação do processo de escolha.

### **ABSTRACT**

This study investigated the use of Virtual Reality in a stated preference survey (SP) to quantify urban characteristics on walkability and analyzed the effects of Simulator Sickness (SS). The characteristics were represented in virtual scenarios and applied to a SP survey, using videos in the online survey, and immersive three-dimensional environments, in-person. Multinomial and mixed logit models were estimated to quantify and compare the importance of different characteristics. The results indicate moderate level of agreement between choices made in both surveys. Additionally, the occurrence of SS didn't influence the participants' decision-making process. The estimated models indicate that attributes like *Attractiveness* and *Pavement Quality* were highly valued, in contrast to previous studies in the same city using images and text, where these aspects were not as significant. Aspects like *Commerce* and *Risk of Accident* show varying degrees of relevance between the techniques, underscoring challenges in the graphical representation of these attributes to better represent the choice process.

### **1. INTRODUÇÃO**

O conceito de caminhabilidade compreende aspectos do ambiente construído como as condições e dimensões das calçadas, a atratividade, a densidade residencial, a percepção de segurança pública e viária, entre outros que podem influenciar o ato de caminhar (Burden, 2001; Litman, 2003). Essa relação tem sido estudada ao longo das últimas décadas em estudos de transportes e planejamento urbano (Ewing e Cervero, 2010; Larranaga *et al.*, 2014), economia (Lucchesi *et al.*, 2021, 2023a) e geografia (Jun e Hur, 2015). A literatura internacional tem se concentrado predominantemente em métricas relativas à mesoescala para compreender a relação entre ambiente urbano e viagens a pé. No entanto, estudos recentes indicam que os elementos de microescala também desempenham um papel importante nesse contexto (Cain *et al.*, 2014; Arellana *et al.*, 2020; Kim e Lee, 2022). A limitação de pesquisas quanto a esses atributos pode ser atribuída à exigência de estar fisicamente presente no ambiente de auditoria, impondo desafios à coleta de dados e exigindo mais tempo e recursos (Lucchesi *et al.*, 2023b).

Dado esse contexto, os avanços tecnológicos que permitem a obtenção de dados de maneiras alternativas, como as auditorias virtuais de caminhabilidade utilizando o *Google Street View*

(GSV), são notáveis. Essas auditorias têm se mostrado promissoras, uma vez que eliminam as desvantagens associadas à coleta de dados em campo, como o tempo de viagem e a insegurança dos auditores, e permitem a auditoria de mais locais de estudo (Steinmetz-Wood *et al.*, 2019). No entanto, é importante validar a eficácia dessas ferramentas em relação aos métodos tradicionais. Para isso, foram verificadas abordagens de comparação de auditorias realizadas em campo com auditorias com GSV (Queralt *et al.*, 2021; Roberge *et al.*, 2022). Esses estudos visaram investigar a concordância entre os resultados obtidos a partir das duas formas de coletas de dados, a fim de validar a viabilidade de substituição do método convencional de coleta em campo pelo uso do GSV como um recurso eficiente e confiável.

Embora o GSV tenha demonstrado confiabilidade na coleta de dados de referente à caminhabilidade, é importante considerar suas limitações. Imagens estáticas ou representações bidimensionais do ambiente podem limitar a percepção e compreensão do espaço urbano (Heft e Nasar, 2000). Portanto, a utilização de ambientes virtuais tridimensionais (3D) e vídeos em realidade virtual (RV) tem suscitado interesse no âmbito de pesquisas sobre a percepção da paisagem urbana. Estudos têm explorado o potencial desses métodos, visando avaliar a percepção dos pedestres e reunir informações mais abrangentes e detalhadas.

Uma das abordagens encontradas na literatura consiste na construção de ambientes virtuais tridimensionais que são convertidos em vídeos que reproduzem a perspectiva de um pedestre em movimento, utilizando técnicas de preferência declarada (PD) ou Escala Likert para classificação dos ambientes (Kasraian *et al.*, 2021; Liao *et al.*, 2022). Além disso, alguns estudos têm incorporado o uso de equipamentos imersivos de RV, como o *Head-Mounted Display* (HMD), para exibir vídeos gravados com câmeras de 360 graus (Kim e Lee, 2022; Nakamura, 2021). Tais estudos indicam que as avaliações realizadas com o HMD apresentam uma maior concordância com as coletas em campo do que com imagens do GSV, e que os participantes demonstraram maior engajamento com os ambientes virtuais, refletindo em uma maior disposição para caminhar, conforto e atratividade. Também foram observados estudos nos quais os participantes podiam se mover livremente no ambiente virtual tridimensional criado, com uso de um HMD, por meio de um *joystick* (Natapov e Fisher-Gewirtzman, 2016) ou de uma esteira omnidirecional (Birenboim *et al.*, 2021).

No entanto, é importante considerar os possíveis efeitos adversos associados à utilização dessas tecnologias imersivas, como o *Simulator Sickness* (SS). O SS refere-se à sensação de mal-estar sentida pelos usuários de simuladores, resultante da falta de sincronia entre a imagem visualizada e o movimento físico (Classen *et al.*, 2011; Kohl, 1983). Embora apenas um dos estudos analisados tenha investigado os sintomas de SS relacionados ao uso de HMD em uma coleta de dados sobre caminhabilidade (Mouratidis e Hassan, 2020), é fundamental compreender esses efeitos e sua possível influência na percepção dos elementos do ambiente construído que impactam a caminhabilidade.

Diante desse panorama, o objetivo deste estudo é analisar o uso da Realidade Virtual em uma pesquisa de preferência declarada para quantificar às características urbanas que estimulam a caminhabilidade. Para isso, as características urbanas foram representadas em cenários virtuais, utilizando vídeos e cenários tridimensionais imersivos, permitindo a comparação das escolhas realizadas em ambos cenários e pesquisas tradicionais. Além disso, foi investigada a ocorrência de *Simulator Sickness* durante a experiência imersiva, visando compreender melhor seus efeitos na percepção dos atributos de caminhabilidade. Os dados de preferência declarada foram coletados através de vídeos, utilizados para representar os cenários em uma pesquisa online, e

posteriormente com o uso do *Oculus Rift*, um equipamento de realidade virtual imersiva. Com base nos dados coletados, foram estimados modelos de escolha discreta, como logit multinomial, logit de componente de erro e de coeficientes aleatórios, a fim de quantificar e comparar a importância das diferentes características.

Esse trabalho contribui em 3 aspectos. Primeiro, explora a utilização da RV como uma ferramenta para investigar as preferências relacionadas à caminhabilidade. A maioria dos trabalhos na literatura nacional e internacional até o momento utilizou abordagens estáticas, descrevendo as situações de escolha apenas por meio de imagens e texto. Essa abordagem possibilita aumentar o realismo do experimento, reduzindo potenciais vieses nas estimativas dos parâmetros. Essa é uma abordagem inovadora que merece destaque. Em segundo lugar, identifica e quantifica a influência dos sintomas de SS no processo de escolha dos participantes. Esses sintomas não foram estudados nos poucos estudos existentes sobre caminhabilidade em ambientes virtuais, embora estejam associados às tecnologias imersivas. Essa investigação permite compreender como esses sintomas podem afetar as escolhas relacionadas à caminhabilidade. Terceiro, compara os resultados das duas coletas obtidas entre si e com outras pesquisas tradicionais, buscando identificar os parâmetros do ambiente construído mais valorizados a partir das diferentes coletas. Essa comparação permite recomendar melhorias para próximas pesquisas e uma representação mais precisa do comportamento de escolha.

## **2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

As seções a seguir apresentam os procedimentos metodológicos aplicados no desenvolvimento do estudo. A primeira etapa envolveu o desenho do projeto experimental e o desenvolvimento dos bairros fictícios, seguida da coleta e análise de dados.

### **2.1. Projeto experimental e desenvolvimento dos bairros fictícios**

A pesquisa de preferência declarada (PD) foi desenhada com o objetivo de analisar a escolha dos indivíduos em relação à caminhabilidade de bairros fictícios. Os atributos foram definidos a partir do estudo de Larranaga et al. (2019), que realizou uma pesquisa *best-worst* para comparar a importância de oito atributos diferentes do ambiente construído em relação à caminhabilidade, sendo eles: largura da calçada; qualidade do pavimento da calçada; quantidade de policiais; quantidade de comércios; atratividade; risco de acidentes de trânsito; conectividade e topografia. Os dois últimos atributos não foram utilizados devido à dificuldade de visualização de ambos em vídeos curtos. O atributo “quantidade de policiais” foi adaptado para “segurança pública”, de forma a facilitar a representação nos cenários. A Tabela 1 apresenta as características de cada atributo e os respectivos níveis utilizados.

O projeto experimental foi elaborado utilizando desenhos eficientes (Rose e Bliemer, 2009) no *software* N-gene (ChoiceMetrics, 2018), devido ao fato de que esses desenhos geram estimativas de parâmetros mais precisas em relação aos projetos ortogonais. Os valores iniciais dos parâmetros da função utilidade foram retirados dos resultados da pesquisa *best-worst* de Larranaga et al. (2019). Devido ao número de atributos, o número mínimo de cenários projetados foi 9, cada um apresentando a comparação de dois bairros fictícios. O desenho foi realizado considerando dois blocos (com 4 e 5 perguntas), tendo em vista que o questionário poderia se tornar muito longo caso apresentasse os 9 cenários.

Os bairros fictícios foram desenvolvidos no *software* *Twinmotion*, um programa de visualização arquitetônica em tempo real que permite criar renderizações e animações de projetos. O *software* foi escolhido devido à sua interface intuitiva e seus recursos de importação de modelos

3D, aplicação de materiais realistas, vegetação, fluxo de veículos e pedestres, além do suporte para visualização do projeto em RV.

**Tabela 1:** Níveis dos atributos pesquisados

Atributo	Itens	Características	Níveis
<b>Segurança pública</b>	Fluxo de pessoas	Sem pessoas e fachadas cegas	Inseguro
		Sem pessoas e com fachadas ativas	Pouco seguro
	Presença de janelas	Com pessoas e com fachadas ativas	Muito seguro
<b>Risco de acidentes de tráfego</b>	Velocidade dos veículos	Velocidade 40km/h e sem travessias	Inseguro
	Presença de travessia de pedestres	Velocidade 40km/h e com travessias	Pouco seguro
		Velocidade 20km/h e com travessias	Muito seguro
<b>Qualidade do pavimento</b>	Condições do pavimento da calçada	Pavimento irregular, com buracos	Ruim
		Pavimento liso de concreto, sem buracos	Boa
<b>Quantidade de comércio</b>	Número de lojas e restaurantes	Nenhuma loja ou restaurante	Nenhum
		Comércios em 10% das edificações da quadra	Poucos
		Comércios em 50% das edificações da quadra	Muitos
<b>Atratividade</b>	Arborização, presença de lixo, presença de bancos, prédios atraentes	Sem árvores, sem grama na faixa de serviço, presença de lixo no passeio, pichação nos prédios	Pouco atrativo
		Árvores a cada 30 metros, grama na faixa de serviço, presença de lixo no passeio, menor disponibilidade bancos e paraciclos	Médio atrativo
		Árvores a cada 10 metros, grama na faixa de serviço, presença de bancos, paraciclos, lixeiras	Muito atrativo
<b>Largura da calçada</b>	Largura da calçada e faixas de tráfego	Calçada estreita, 1 faixa de tráfego + 1 faixa de estacionamento por sentido	Estreita
		Calçada larga, 1 faixa de tráfego por sentido	Larga

## 2.2. Coleta de dados

Foram coletados dados socioeconômicos e de preferência declarada durante uma pesquisa no mês de junho de 2023. A pesquisa envolveu duas etapas distintas de coleta: a primeira online, com questionário distribuído vias redes sociais e e-mail, e a segunda de forma presencial, realizada no Laboratório de Sistemas de Transportes da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LASTRAN-UFRGS).

No questionário online, a seção de preferência declarada incluiu a apresentação de pares de vídeos (cenários) de um minuto de duração, a partir da perspectiva de um pedestre caminhando por uma quadra de um bairro fictício onde o voluntário deveria escolher um dos bairros, respondendo à pergunta “Considerando as características de cada bairro, qual o estimularia mais a caminhar?”. Antes da proposição dos cenários de escolha, foi realizada uma contextualização e explicação a respeito dos atributos a serem observados. Um exemplo dos cenários apresentados pode ser visto na Figura 1. Além disso, os vídeos elaborados para a pesquisa podem ser vistos [no canal do YouTube](#), junto a um vídeo 3D apresentado como exemplo da visualização dos cenários com o equipamento imersivo na etapa presencial.

Inicialmente, uma etapa piloto foi conduzida, na qual os primeiros 80 respondentes analisaram apenas um bloco de perguntas com 4 ou 5 cenários, distribuído a partir da seleção de uma cor aleatória. Tendo em vista a facilidade e rapidez em responder o questionário, os demais participantes responderam a todos os 9 cenários elaborados no projeto experimental. Na segunda etapa, a coleta de dados presencial foi realizada no laboratório utilizando o *Oculus Rift*, um equipamento de RV imersivo. A convocação para participação na pesquisa presencial ocorreu por meio de convites enviados aos participantes que demonstraram interesse na etapa online. A amostra foi auto selecionada, visto que os primeiros participantes que marcaram horário através do link de agendamento puderam participar.

A fim de controlar o tempo de utilização dos óculos de RV, os participantes que responderam ao questionário completo online foram atribuídos aleatoriamente aos blocos, garantindo que o período de utilização dos óculos de RV não excedesse 15 minutos. Aqueles que responderam apenas a um bloco no questionário online responderam ao mesmo bloco durante a utilização dos óculos de RV. Os participantes puderam explorar livremente cada cenário virtual por aproximadamente 1 minuto e meio. Após visualização dos dois bairros a serem comparados, o voluntário deveria realizar a sua escolha e informar verbalmente a pesquisadora, que realizou o preenchimento do formulário. Além disso, os participantes foram solicitados a preencher um questionário sobre *Simulator Sickness* (SS) antes e após a exposição ao equipamento imersivo (Carvalho *et al.*, 2011). A Figura 2 apresenta duas voluntárias realizando o experimento.



**Figura 1:** Exemplos de cenários de escolha no questionário online



**Figura 2:** Voluntárias realizando o experimento

### 2.3. Análise de Dados

A análise dos dados envolveu quatro etapas: (i) concordância das respostas da pesquisa online e presencial; (ii) sintomas de *Simulator Sickness*, (iii) estimação de modelos de escolha discreta e (iv) cálculo de efeitos marginais. Essas etapas são descritas a seguir.

Para a avaliação da concordância entre as escolhas realizadas pelos participantes na pesquisa online e presencial foram utilizadas três medidas: (i) concordância em percentual, calculada como a proporção de concordâncias em relação ao total de avaliações; (ii) Coeficiente Kappa de Cohen e (iii) teste de significância do Coeficiente Kappa de Cohen. Essas três medidas se complementam, e o procedimento usual é realizar uma análise conjunta das mesmas. O coeficiente Kappa de Cohen é uma estatística amplamente utilizada para avaliar a confiabilidade para variáveis categóricas nominais, como no caso da escolha entre dois bairros apresentados. Essa medida leva em consideração tanto a concordância em percentual quanto a concordância esperada ao acaso, corrigindo o valor do índice (Kottner *et al.*, 2011). O teste de significância permite complementar os valores anteriores, pois avalia se o coeficiente obtido é estatisticamente diferente de zero. Por si só, o teste não é suficiente, uma vez que valores relativamente baixos de Kappa podem ser estatisticamente significativos. No entanto, devido a limitações da própria estatística, em alguns casos podem ser relatados baixos valores de Kappa mesmo com uma alta concordância (Steinmetz-Wood *et al.*, 2019). Dessa forma, o procedimento usual é a análise conjunta das três medidas mencionadas, pois cada uma oferece informações distintas sobre a concordância das escolhas dos participantes.

A avaliação da concordância em percentual foi baseada na classificação adotada por Rundle *et al.* (2011): alta (>80%), moderada (60 – 79,9%) e fraca (<60%). A magnitude do coeficiente Kappa foi interpretada seguindo a classificação dada por Landis e Koch (1977): Kappa < 0,00 (péssima); 0,00 – 0,20 (ruim); 0,21 – 0,40 (razoável); 0,41 – 0,60 (moderada); 0,61 – 0,80 (muito boa) e 0,81 – 1,00 (perfeita).

Na segunda etapa foram analisados os sintomas de SS como cansaço, dor de cabeça, náuseas, entre outros. Para isso foram transformados os valores de severidade de cada sintoma numa medida quantitativa (1 a 4) e comparados os valores observados antes e após a utilização do equipamento imersivo. Os valores de severidade adotados foram 1 para nenhum sintoma, 2 para sintomas leves, 3 para moderados e 4 para severo (Nodari *et al.*, 2017). Adicionalmente, foi investigada a existência de correlação entre a concordância em percentual nas escolhas de bairro por participante e o nível de SS reportado após o experimento. O nível de SS foi calculado a partir da média aritmética dos valores atribuídos a cada sintoma (média de cansaço, dor de cabeça, náuseas etc.), de forma a representar a sensação média de mal-estar sentida pelos respondentes após o uso do simulador. A correlação foi avaliada através da correlação de Pearson, para avaliar a relação linear e de Spearman, para capturar relações não lineares.

Na terceira etapa foram estimados modelos de escolha discreta utilizando os dados coletados na pesquisa online e presencial a fim de determinar o impacto dos atributos incluídos no experimento. A estimação dos modelos foi realizada no software *Apollo* (Hess e Palma, 2019). Inicialmente, foram estimados modelos logit multinomial (MNL) (McFadden, 1974), que são os modelos mais utilizados e mais simples de escolha discreta. Posteriormente, foram estimados modelos logit mistos (Boyd e Mellman, 1980), para incluir a heterogeneidade e a correlação entre as escolhas dos indivíduos. Os modelos mistos estimados foram modelos de componente de erro com termo de efeito painel (EC) e modelos de coeficientes aleatórios (RCL). Os EC foram utilizados para lidar com a correlação das múltiplas respostas de cada indivíduo, decorrente das respostas de preferência declarada, e os RCL para capturar a heterogeneidade nas preferências dos indivíduos.

Por último, foram calculados os efeitos marginais de cada atributo na probabilidade de escolha, a fim de comparar a importância relativa dos atributos na escolha de bairro, tanto na pesquisa online quanto presencial. Os atributos estão especificados com diferentes escalas, de forma que a comparação não pode ser realizada diretamente a partir dos parâmetros estimados nos modelos. Os efeitos marginais indicam como uma mudança de 1 unidade na variável independente afeta a probabilidade de escolher determinado bairro. Esses efeitos foram calculados conforme descrito em Hensher et al. (2005) para cada indivíduo e agregados por enumeração amostral (média das probabilidades de escolha de cada indivíduo).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação do questionário online resultou em 436 respostas válidas. O tamanho da amostra foi definido através do cálculo para estimadores de proporção em amostras aleatórias simples, considerando um nível de confiança de 95% e um erro de 5%, determinando um mínimo de 384 respondentes. A mostra foi composta por 54% respondentes do gênero feminino e 46% do gênero masculino. A média de idade dos participantes foi de 34,9 anos, com idades distribuídas entre 16 e 83 anos. Já o experimento presencial foi realizado com 57 participantes, dessa vez sendo 46% do gênero feminino e 54% do gênero masculino. A faixa etária está distribuída entre 19 e 67 anos, sendo a média de 29,3 anos. Mais detalhes de caracterização da amostra podem ser vistos na Tabela 2 (onde P = presencial e O = online).

**Tabela 2:** Caracterização das amostras quanto à renda, escolaridade e ocupação

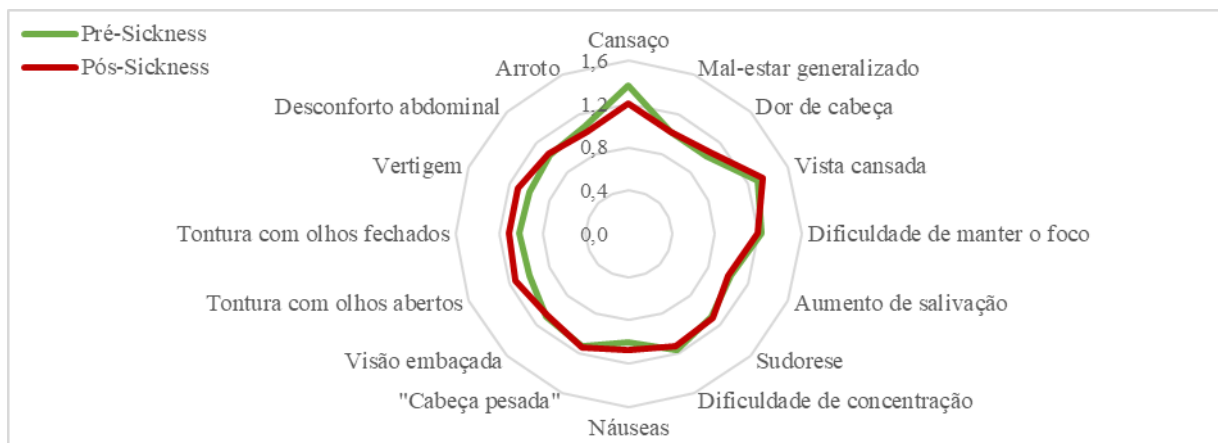
Renda familiar	P	O	Escolaridade	P	O	Ocupação	P	O
Até R\$2.640	15%	15%	Ensino fundamental	0%	0%	Aposentado	5%	4%
R\$2.640 a R\$5.280	22%	20%	Ensino médio	6%	0%	Desempregado	2%	0%
R\$5.280 a R\$13.200	32%	22%	Ensino médio técnico	0%	0%	Do lar	0%	0%
\$13.200 a R\$26.400	17%	33%	Ens. superior completo	22%	7%	Emp. do setor privado	22%	5%
Acima de R\$26.400	5%	7%	Ens. superior incompleto	39%	62%	Emp. do setor público	19%	20%
Prefiro não responder	10%	4%	Pós-graduação	33%	31%	Estudante	39%	67%
						Sócio de empresa	13%	4%

A avaliação da concordância das escolhas dos 57 participantes entre a pesquisa online e presencial foi realizada a partir das três medidas descritas na seção 2.3. A avaliação resultou nos seguintes valores: (i) concordância em percentual de 70% - ou seja 70% das escolhas feitas na pesquisa online coincidiram com as escolhas feitas na pesquisa presencial- indicando uma concordância moderada; (ii) Coeficiente Kappa de Cohen de 0,385, indicando uma concordância razoável, quase moderada e (iii) valor-p do teste de significância do Coeficiente Kappa de Cohen de 0,00, menor que o valor de significância usual de 5%, indicando que o índice é significativamente diferente de zero. A análise conjunta das três medidas sugere que os participantes apresentaram concordância nas escolhas em ambas as pesquisas. De forma geral, eles selecionaram os mesmos bairros quando foram apresentados às duas opções.

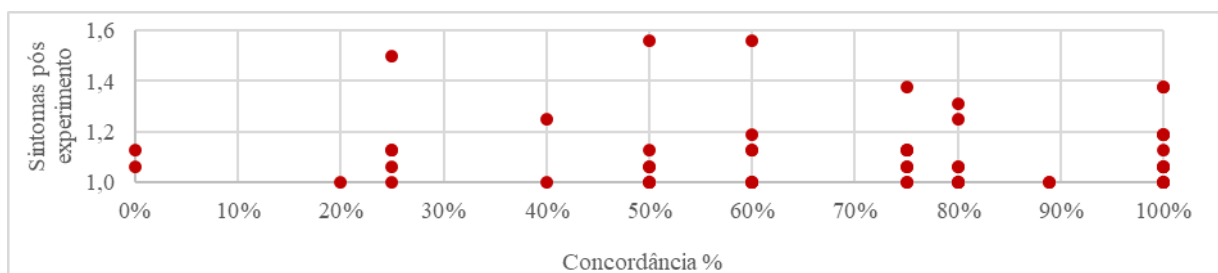
A análise dos sintomas de SS é sintetizada na Figura 3, que apresenta as diferenças entre os sintomas de SS observados antes e após a utilização do equipamento imersivo durante o experimento. O círculo unitário no centro da figura representa a menor intensidade na escala apresentada. Após o experimento, o nível relatado de “cansaço” foi inferior aos níveis observados antes da utilização do HMD, indicando que os participantes se sentiram à vontade e aproveitaram o experimento. Além disso, observou-se que os principais sintomas que apresentaram aumento após uso do HMD foram vertigem, tontura com olhos abertos, tontura

com olhos fechados e vista cansada. Entretanto, os valores médios de todos os participantes se situam entre 1 e 2 (nada a leve).

Na Figura 4 são apresentados os valores de concordância em percentual nas escolhas de bairro por participante de acordo com o nível de SS reportado após o experimento. Como exemplo, dois participantes tiveram uma concordância de 50% entre as escolhas presenciais e online e relataram níveis de sintomas pós-experimento diferentes, resultantes em valores médios de SS igual a 1 e 1,6. A figura mostra que não há uma tendência evidente entre o nível de SS e a concordância nas escolhas de bairro. Esse resultado foi comprovado pelos testes de correlação de Pearson (valor-p=0,911) e de Spearman (valor-p=0,822), ambos valores não estatisticamente significativos (5% de significância). É possível observar também que participantes com diferentes níveis de concordância apresentaram a mesma escala de SS, indicando que o uso do equipamento imersivo *Oculus Rift*, apesar de causar o surgimento de sintomas de SS, não possui influência nas escolhas dos cenários pelos participantes. O mesmo resultado foi encontrado por Mouratidis e Hassan (2020), que apresentaram cenários do GSV aos participantes com um HMD e uma cadeira giratória. Os autores não encontraram correlações significativas entre os níveis de tontura relatados e as percepções ambientais e avaliações afetivas quanto ao ambiente construído, exceto para a variável segurança, que apresentou correlação positiva com os sintomas de SS. Entretanto, os autores concluem que essa correlação pode ter ocorrido ao acaso.



**Figura 3:** Diferenças entre sintomas de SS antes e depois do experimento



**Figura 4:** Relação entre os sintomas de SS depois do experimento e concordância

A Tabela 3 apresenta os resultados da estimação do modelo de escolha MNL para a pesquisa presencial realizada com HMD e para a pesquisa online. Também sintetiza os efeitos marginais calculados para cada variável. Os resultados dos modelos EC e RCL não são apresentados visto que as estimativas do desvio-padrão tanto para o componente de erro quanto para os parâmetros aleatórios não foram estatisticamente significativas (valor-p>0,05), colapsando para



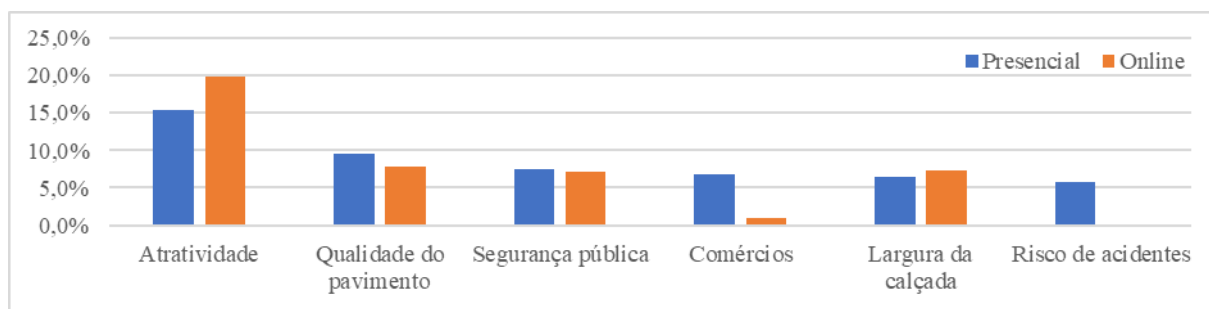
o modelo MNL. A falta de significância dessas estimativas indica que as escolhas do mesmo indivíduo possivelmente não estejam correlacionadas (EC) e também a existência de homogeneidade nas preferências dos indivíduos amostrados (RCL). Isso significa que os efeitos dos atributos (segurança pública, superfície das calçadas, atratividade etc.) sobre as escolhas dos participantes são os mesmos para todos os indivíduos. Os modelos estimados apresentaram um ajuste satisfatório, valores de  $\rho^2$  entre 0,2 e 0,3, considerando que valores de 0,4 podem ser considerados ótimos ajustes (Ortúzar e Willumsen, 2011). *Risco de acidentes* não foi estatisticamente significativa para os dados coletados na pesquisa online para os níveis de significância usuais, e, portanto, foi removida do modelo.

**Tabela 3:** Resultados dos modelos MNL

Variável	Presencial		Online	
	Parâmetro (valor-p)	Efeito marginal	Parâmetro (valor-p)	Efeito marginal
Intercepto	0,296 (0,03)	-	0,075 (0,07)	-
Segurança pública	0,452 (0,04)	7,5%	0,449 (0,00)	7,2%
Risco de acidentes	0,340 (0,00)	5,7%	-	-
Qualidade do pavimento	0,585 (0,05)	9,6%	0,497 (0,00)	7,9%
Comércios	0,408 (0,00)	6,8%	0,061 (0,07*)	1,0%
Atratividade	0,983 (0,00)	15,4%	1,301 (0,00)	19,8%
Largura da calçada	0,389 (0,07*)	6,5%	0,457 (0,00)	7,3%
Nº de observações válidas	266		3556	
$\rho^2$	0,213		0,285	

(\*) Significativo com 90% de confiança

Os resultados dos efeitos marginais apresentaram resultados bastante interessantes (Figura 5). Em primeiro lugar, *Atratividade* e *Qualidade do pavimento* foram os atributos mais valorizados pelos respondentes em ambas as pesquisas. Esse resultado difere dos estudos anteriores realizados na mesma cidade, como os estudos conduzidos por Larranaga *et al.* (2019) e Ruiz-Padillo *et al.* (2018), que utilizaram métodos tradicionais de pesquisa com descrições estáticas dos níveis dos atributos, por meio de texto e imagens. Nestes estudos anteriores, esses atributos não estavam entre os mais valorizados. Essa discrepância pode ser atribuída à possibilidade de interatividade e imersão proporcionadas pela RV, que oferece uma experiência mais realista. O realismo é uma característica altamente procurada em experimentos de preferência declarada, pois ajuda a reduzir o viés nos parâmetros estimados nos modelos. Essa imersão pode ter influenciado a forma como os participantes perceberam e valorizaram os atributos.



**Figura 5:** Efeitos marginais

Em segundo lugar, *Segurança Pública* mostrou ser um atributo muito importante para os respondentes. Esse resultado coincide com os obtidos em outros estudos realizados em Porto Alegre e em outras cidades do Sul Global, como apontado por (Arellana *et al.*, 2020; Larranaga *et al.*, 2019; Lucchesi, Abreu e Silva, Larranaga, e Cybis, 2023; Ruiz-Padillo *et al.*, 2018) entre

outros. Entretanto, é uma característica de difícil representação, tanto em formato de texto quanto por meio de imagens e realidade virtual. Isso se deve à sua natureza complexa, envolvendo duas dimensões distintas: a segurança percebida pelos indivíduos, que influencia suas decisões de viagens e escolha modal, e a segurança objetiva, que se refere a ocorrência efetiva de crimes. Diversos estudos têm utilizado diferentes métricas para representar a *Segurança Pública*, como número de policiais por cada 1000 habitantes, a presença ou quantidade de câmeras de vigilância, a movimentação ou volume de pedestres, bem como aspectos relacionados à vigilância natural, como janelas e grades. No âmbito do presente estudo, realizado em ambiente virtual, a representação por meio do fluxo de pessoas nas ruas e a presença de janelas se mostrou adequado para transmitir adequadamente o conceito de segurança pública. Contudo, é possível que outras características relevantes possam ser consideradas para uma avaliação mais abrangente desse aspecto.

Em terceiro lugar, *Comércios* apresentou diferente nível de importância na pesquisa online e presencial. Na pesquisa presencial, o comércio foi mais valorizado em comparação à pesquisa online. Provavelmente, ao percorrer o cenário com uma imersão maior, os participantes puderam identificar os estabelecimentos comerciais presentes nos bairros fictícios. De fato, a visualização desses comércios não estava tão clara nos vídeos, mas sim quando visualizados com o uso de óculos de RV, embora os cenários fossem os mesmos. Em outros estudos realizados na cidade, mencionados anteriormente, a presença de comércios foi considerada de importância média dentro do conjunto de atributos urbanos avaliados. Esse resultado traz um aprendizado e um desafio sobre a representação mais adequada para essa variável.

Em quarto lugar, *Risco de acidentes* apresentou menor relevância em ambas as pesquisas assim como nos estudos realizados na mesma cidade a partir de técnicas tradicionais de coleta de dados (Larranaga *et al.*, 2019; Ruiz-Padillo *et al.*, 2018).

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Esse estudo analisou a utilização de realidade virtual em uma pesquisa de preferência declarada para analisar a importância das características urbanas que influenciam na caminhabilidade. Para isso, as características urbanas foram representadas em cenários virtuais, apresentados em vídeos convencionais e comparados com cenários tridimensionais com equipamento imersivo. A partir de projetos experimentares, esses cenários foram combinados e elaborado o questionário de coleta de dados. 436 respondentes participaram da pesquisa online e 57 da pesquisa presencial. Adicionalmente, foi analisada a ocorrência de SS durante a experiência imersiva, a fim de compreender melhor seus efeitos na percepção dos atributos de caminhabilidade. A análise dos dados envolveu quatro etapas: (i) concordância das respostas da pesquisa online e presencial; (ii) sintomas de SS, (iii) estimação de modelos de escolha discreta e (iv) cálculo de efeitos marginais.

A avaliação da concordância das escolhas dos 57 participantes entre a pesquisa online e presencial sugere que os participantes apresentaram concordância nas escolhas em ambas as pesquisas. De forma geral, eles selecionaram os mesmos bairros quando foram apresentados às duas opções. A concordância percentual foi de 70%, o Coeficiente Kappa de Cohen foi estatisticamente significativo e com valor de 0,385, indicando uma concordância razoável, quase moderada.

Para os sintomas de SS, foi observado que houve aumento no nível de intensidade de alguns sintomas sentidos, como vertigem, tontura com olhos abertos e fechados e vista cansada.

Entretanto, a partir da análise das correlações lineares e não lineares entre os sintomas de SS pós-experimento e a concordância nas escolhas de bairro nas duas pesquisas, não foi observada tendência evidente da influência dos sintomas de SS nas escolhas dos participantes.

Os resultados dos modelos de escolha discreta para ambas as pesquisas mostraram que os modelos logit multinomial foram os mais adequados, dentro dos modelos estimados para representar o processo de escolha de bairro. O cálculo de efeitos marginais indicou que *Atratividade* e *Qualidade do pavimento* foram os atributos mais valorizados pelos respondentes em ambas as pesquisas, seguidos de *Segurança Pública*.

A representação por meio de vídeos se mostrou bastante adequada, com resultados que coincidem, em geral, com aqueles obtidos através do uso de óculos de realidade virtual. Houve concordância nas respostas entre ambas as pesquisas, assim como na importância atribuída pelos participantes. As pesquisas online possuem a vantagem de maior alcance e amostras mais amplas. A utilização dessa técnica pode contribuir para adicionar realismo, ao mesmo tempo em que facilita a coleta de dados.

Em linha com o argumento apresentado por Kim e Lee (2022), os resultados indicam que a auditoria em VR é mais apropriada para avaliação de aspectos relacionados à sensação de espaço, qualidades comportamentais e atmosfera geral da rua. Conforme os resultados da pesquisa, as técnicas de realidade virtual apresentaram vantagens para identificação de alguns aspectos, como *Comércios* e *Risco de acidentes*, que possuíram maior relevância na pesquisa presencial devido às características da imersão.

Para trabalhos futuros, sugere-se a investigação mais aprofundada da influência do modo representação de determinados atributos nos cenários em vídeos convencionais e nos cenários em realidade virtual, como por exemplo *Atratividade* e *Qualidade do pavimento*, que apresentaram maior importância em relação às coletas tradicionais. Além disso, a representação dos *Comércios* também apresenta um desafio quanto à sua melhor representação, de forma que a visualização desse aspecto não seja privilegiada somente em um tipo de observação.

#### **Agradecimentos**

A autora Giovana Facchini agradece à bolsa de mestrado da CAPES (88887.713436/2022-00) e a UFRGS pelo apoio à pesquisa e a autora Mariana Lovato dos Santos agradece à bolsa de doutorado da CAPES (88887.850993/2023-00). A autora Fernanda Abreu Cândido dos Santos agradece à bolsa PIBIC CNPq-UFRGS e a autora Ana Margarita Larranaga Uriarte agradece ao CNPq pelo apoio através da bolsa de produtividade em pesquisa número 307085/2021-0.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Arellana, J., Saltaín, M., Larrañaga, A. M., Alvarez, V., e Henao, C. A. (2020) Urban walkability considering pedestrians' perceptions of the built environment: a 10-year review and a case study in a medium-sized city in Latin America. *Transport Reviews*, 40(2), 183–203. doi:10.1080/01441647.2019.1703842
- Birenboim, A., Bloom, P. B. N., Levit, H., e Omer, I. (2021) The study of walking, walkability and wellbeing in immersive virtual environments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2).
- Boyd, J., e Mellman, J. (1980) The effect of fuel economy standards on the U.S. automotive market: a hedonic demand analysis. *Transportation Research*, 14A(5–6), 423–434.
- Burden, D. (2001) Building Communities with Transportation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1773(1), 5–20. doi:10.3141/1773-02
- Cain, K. L., Millstein, R. A., Sallis, J. F., Conway, T. L., Gavand, K. A., Frank, L. D., Saelens, B. E., Geremia, C. M., Chapman, J., Adams, M. A., Glanz, K., e King, A. C. (2014) Contribution of streetscape audits to explanation of physical activity in four age groups based on the Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes (MAPS). *Social Science & Medicine*, 116, 82–92. doi:10.1016/j.socscimed.2014.06.042
- Carvalho, M. R. de, Costa, R. T. da, e Nardi, A. E. (2011) Simulator Sickness Questionnaire: tradução e adaptação

- transcultural. *Jornal Brasileiro de Psiquiatria*, 60(4), 247–252. doi:10.1590/S0047-20852011000400003
- ChoiceMetrics. (2018) Ngene 1.2 user manual and reference guide. ChoiceMetrics Pty Ltd, Australia.
- Classen, S., Bewernitz, M., e Shechtman, O. (2011) Driving Simulator Sickness: An Evidence-Based Review of the Literature. *The American Journal of Occupational Therapy*, 65(2), 179–188.
- Ewing, R., e Certero, R. (2010) Travel and the built environment. *Journal of the American Planning Association*, 76(3), 265–294. doi:10.1080/01944361003766766
- Heft, H., e Nasar, J. L. (2000) Evaluating environmental scenes using dynamic versus static displays. *Environment and Behavior*, 32(3), 301–322. doi:10.1177/0013916500323001
- Hensher, D. A., Rose, J. M., e Greene, W. H. (2005) *Applied Choice Analysis: A Primer*. (1<sup>o</sup> ed). Cambridge University Press, New York, NY, USA.
- Hess, S., e Palma, D. (2019) Apollo version 0.1.0 User Manual. Obtido de [www.ApolloChoiceModelling.com](http://www.ApolloChoiceModelling.com)
- Jun, H. J., e Hur, M. (2015) The relationship between walkability and neighborhood social environment: The importance of physical and perceived walkability. *Applied Geography*, 62, 115–124.
- Kasraian, D., Adhikari, S., Kossowsky, D., Luubert, M., Hall, G. B., Hawkins, J., Nurul Habib, K., e Roorda, M. J. (2021) Evaluating pedestrian perceptions of street design with a 3D stated preference survey. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(7), 1787–1805. doi:10.1177/2399808320946050
- Kim, S.-N., e Lee, H. (2022) Capturing reality: Validation of omnidirectional video-based immersive virtual reality as a streetscape quality auditing method. *Landscape and Urban Planning*, 218, 104290.
- Kohl, R. L. (1983) Sensory conflict theory of space motion sickness: an anatomical location for the neuro conflict. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, ((54)5), 464–465.
- Kottner, J., Audigé, L., Brorson, S., Donner, A., Gajewski, B. J., Asbjørn Hróbjartsson, C. R., Shoukri, M., e Streiner, D. L. (2011) Guidelines for reporting reliability and agreement studies (GRRAS) were proposed. *International Journal of Nursing Studies*, 48(6), 661–671.
- Landis, J. R., e Koch, G. G. (1977) The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159. doi:10.2307/2529310
- Larranaga, A. M., Arellana, J., Rizzi, L. I., Strambi, O., e Cybis, H. B. B. (2019) *Using best–worst scaling to identify barriers to walkability: a study of Porto Alegre, Brazil. Transportation* (Vol. 46). Springer US.
- Larranaga, A. M., Rizzi, L. I., Arellana, J., Strambi, O., e Cybis, H. B. B. (2014) The influence of built environment and travel attitudes on walking: A case study of Porto Alegre, Brazil. *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(4), 332–342. doi:10.1080/15568318.2014.933986
- Liao, B., van den Berg, P. E. W., van Wesemael, P. J. V., e Arentze, T. A. (2022) Individuals’ perception of walkability: Results of a conjoint experiment using videos of virtual environments. *Cities* 125, 103650.
- Litman, T. A. (2003) Economic Value of Walkability. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1828(1), 3–11. doi:10.3141/1828-01
- Lucchesi, S. T., Larranaga, A. M., Cybis, H. B. B., Abreu e Silva, J. A. de, e Arellana, J. A. (2021) Are people willing to pay more to live in a walking environment? A multigroup analysis of the impact of walkability on real estate values and their moderation effects in two Global South cities. *Research in Transportation Economics*, 86, 100976. doi:10.1016/j.retrec.2020.100976
- Lucchesi, S. T., Abreu e Silva, J. A. de, Larranaga, A. M., e Cybis, H. B. B. (2023) Walkability premium: evidence for low-income communities. *International Journal of Sustainable Transportation*, 17(7), 727–739.
- Lucchesi, S. T., Abreu e Silva, J. A. de, Larranaga, A. M., Zechin, D., e Beatriz Bettella Cybis, H. (2023b) Machine Learning and Image Recognition Technologies to Identify Built Environment Barriers and Incentives to Walk. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2677(1), 14–24.
- McFadden, D. (1974) Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behaviour. P. Zarembka (Ed), *Frontiers in Econometrics* (p. 105–142). Academic Press, New York, New York, USA.
- Mouratidis, K., e Hassan, R. (2020) Contemporary versus traditional styles in architecture and public space: A virtual reality study with 360-degree videos. *Cities*, 97(November 2019), 102499.
- Nakamura, K. (2021) Experimental analysis of walkability evaluation using virtual reality application. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(8), 2481–2496.
- Natapov, A., e Fisher-Gewirtzman, D. (2016) Visibility of urban activities and pedestrian routes: An experiment in a virtual environment. *Computers, Environment and Urban Systems*, 58, 60–70.
- Nodari, C. T., Oliveira, M. C. de, Veronez, M. R., Bordin, F., Gonzaga Jr., L., Larocca, A. P. C., e Framarim, C. (2017) Avaliação do realismo e da sensação de mal-estar (simulator sickness) no uso de simulador imersivo de direção. *Anais XXXI Congresso da ANPET* (p. 3103–3115). ANPET, Recife.
- Ortúzar, J. de D., e Willumsen, L. G. (2011) *Modelling Transport*. Wiley. doi:10.1002/9781119993308
- Queralt, A., Molina-García, J., Terrón-Pérez, M., Cerin, E., Barnett, A., Timperio, A., Veitch, J., Reis, R., Silva,

- A. A. P., Ghekiere, A., Van Dyck, D., Conway, T. L., Cain, K. L., Geremia, C. M., e Sallis, J. F. (2021) Reliability of streetscape audits comparing on-street and online observations: MAPS-Global in 5 countries. *International Journal of Health Geographics*, 20(1), 1–11. doi:10.1186/s12942-021-00261-5
- Roberge, J. B., Contreras, G., Kakinami, L., Van Hulst, A., Henderson, M., e Barnett, T. A. (2022) Validation of desk-based audits using Google Street View® to monitor the obesogenic potential of neighbourhoods in a pediatric sample: a pilot study in the QUALITY cohort. *International Journal of Health Geographics*, 21(1).
- Rose, J. M., e Bliemer, M. C. J. (2009) Constructing Efficient Stated Choice Experimental Designs. *Transport Reviews*, 29(5), 587–617. doi:10.1080/01441640902827623
- Ruiz-Padillo, A., Pasqual, F. M., Larranaga Uriarte, A. M., e Cybis, H. B. B. (2018) Application of multi-criteria decision analysis methods for assessing walkability: A case study in Porto Alegre, Brazil. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 63, 855–871. doi:10.1016/j.trd.2018.07.016
- Rundle, A. G., Bader, M. D. M., Richards, C. A., Neckerman, K. M., e Teitler, J. O. (2011) Using google street view to audit neighborhood environments. *American Journal of Preventive Medicine*, 40(1), 94–100.
- Sohn, D. W., Moudon, A. V., e Lee, J. (2012) The economic value of walkable neighborhoods. *Urban Design International*, 17(2), 115–128. doi:10.1057/udi.2012.1
- Steinmetz-Wood, M., Velauthapillai, K., O'Brien, G., e Ross, N. A. (2019) Assessing the micro-scale environment using Google Street View: The Virtual Systematic Tool for Evaluating Pedestrian Streetscapes (Virtual-STEPS). *BMC Public Health*, 19(1), 1–11. doi:10.1186/s12889-019-7460-3

---

Giovana Facchini ([giovana.facchini@ufrgs.br](mailto:giovana.facchini@ufrgs.br))