

## DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR DE DIREÇÃO EM PLATAFORMA UNITY

### DEVELOPMENT OF A DRIVING SIMULATOR ON UNITY PLATFORM

**Daniel S. P. García<sup>a</sup>, Gustavo R. Di Rado<sup>a,b</sup>, César Luís Andriola<sup>a</sup>,  
Sara Ferreira<sup>c</sup>, Miguel Leitão<sup>d</sup> e Carlos José Campos<sup>d</sup>**

<sup>a</sup>*Laboratório de Sistemas de Transportes - LASTRAN, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Osvaldo Aranha 99 sala 408/5, Porto Alegre, RS - Brasil, <https://www.ufrgs.br/saepr/>*

<sup>b</sup>*Laboratorio de Simulación de Tránsito, Universidad Nacional del Nordeste, Av. Las Heras 727,3500 Resistencia, Chaco, Argentina, [gdirado@ing.unne.edu.ar](mailto:gdirado@ing.unne.edu.ar), <http://ing.unne.edu.ar>*

<sup>c</sup>*Centro de Investigação do Território, Transportes e Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, Porto, Portugal*

<sup>d</sup>*Departamento de Engenharia Electrotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto – ISEP, Porto, Portugal*

**Palavras chave:** segurança viária, simulador de direção veicular, modelos tridimensionais realísticos

**Resumo.** Acidentes de trânsito constituem a 8ª principal causa de morte no mundo e a principal entre crianças e jovens. A compreensão dos diferentes fatores que contribuem para a ocorrência e severidades dos acidentes é um tema recorrente em pesquisas na área de Segurança Viária. Nas últimas décadas, com a utilização de recursos computacionais, tornou-se viável desenvolver projetos de experimentos em Simuladores de Direção Veicular – SDV. Experimentos realizados em tais equipamentos apresentam como características positivas (i) a segurança e (ii) um ambiente controlado. Por outro lado, (i) a falta de realismo e (ii) o desconforto são características negativas do uso de SDVs. O presente artigo trata do desenvolvimento de um SDV, sobre a plataforma de jogos UNITY, para fins de projetos de experimentos na área de Segurança Viária. Conclui-se que a utilização de plataforma de jogos na construção de um SDV oferece significativas contribuições para estudos em Segurança Viária, sendo economicamente viável para países com baixo poder de investimento em pesquisa.

**Keywords:** road safety, driving simulator, realistic three-dimensional models.

**Abstract.** Traffic accidents are the 8th main cause of death in the world and the main one among children and young people. Understanding the different factors that contribute to the occurrence and severity of accidents is a recurrent theme in research in the area of Road Safety. In recent decades, with the use of computational resources, it became feasible to develop experimental projects in Driving Simulators. Experiments carried out in such equipment present as positive characteristics (i) safety and (ii) a controlled environment. On the other hand, (i) lack of realism and (ii) discomfort are negative characteristics of using DS. This article deals with the development of a DS, on the UNITY gaming platform, for the purposes of experimental projects in the area of Road Safety. It is concluded that the use of a game platform in the development of a DS offers significant contributions to studies in Road Safety, being economically viable for countries with low power to invest in research.

## 1 INTRODUÇÃO

Os acidentes de trânsito constituem a 8ª principal causa de morte no mundo e a principal entre crianças e jovens, segundo estimativas da Organização Mundial de Saúde – OMS (WHO, 2018). Em 2016, as mortes em acidentes de trânsito no mundo totalizaram 1,35 milhões, contra 1,15 milhões em 2000, indicando estabilidade com ligeira elevação, sendo considerada pela OMS “o número de mortes no trânsito nas estradas do mundo permanece inaceitavelmente alto”.

Acidentes de trânsito, geralmente, estão associados ao fator humano, veicular, viário e ao entorno. O fator humano é preponderante e caracterizado nas situações por imprudência, excesso de velocidade e uso de álcool e/ou demais substâncias que possam afetar sua lucidez. Ainda que a falha do elemento humano esteja associada a, aproximadamente, 90% dos acidentes registrados (TRB, 2012), estudos e pesquisas, fundamentados na Visão Zero, indicam que uma abordagem com responsabilidade compartilhada (via, veículo, usuário e entorno) apresenta uma probabilidade maior de sucesso (ITF, 2016). A compreensão de como estes agentes relacionam-se na ocorrência de um acidente e na sua severidade permite avaliar medidas que possam tornar as rodovias e vias urbanas mais “tolerantes” ao erro humano.

Nesse sentido, a utilização de Simuladores de Direção Veicular – SDV, também conhecidos como simuladores de direção, simuladores de condução ou *driving simulators*, oferecem condições de análise, tanto para rodovias e vias em fase de projeto, quanto para as já implantadas. A possibilidade de avaliar o comportamento de condutores nas condições existentes (cenário real), bem como em alternativas de projeto (cenários virtuais), é uma das principais contribuições do uso de simuladores.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Sistemas viários estão entre os sistemas mais complexos criados pela civilização humana (García et al., 2018). Fatores vinculados ao projeto, construção e manutenção da via, a características e desempenho do veículo, ao comportamento do condutor e às condições de entorno (climáticas, ocupação, etc.) devem ser compreendidos de forma integrada e sistêmica para a compreensão do evento acidente viário.

A utilização de SDV vem se ampliando na medida que ocorrem avanços na informática. A representação de cenários em ambientes virtuais está presente na área do entretenimento (animações, filmes e jogos), no uso militar e, mais recentemente, na engenharia. Nesta última, destaca-se por proporcionar um ambiente artificial de pesquisa economicamente viável, seguro e que oferece uma coleta de dados facilitada. Os SDV oferecem a possibilidade de investigação de diversos problemas relacionados ao comportamento humano perante diferentes cenários, como por exemplo, a Percepção Subjetiva de Risco – PSR de condutores em rodovias virtuais hipotéticas ou recriadas a partir de dados reais. A associação dos estudos de consistência geométrica e modelos de estimativa da velocidade operacional aos estudos com SDV podem colaborar com o aperfeiçoamento da calibração e validação deste último.

A calibração e validação de Simuladores de Direção Veicular – SDV está posicionada na interface entre duas grandes áreas de pesquisa. A primeira, voltada a modelos de estimativa da velocidade operacional de veículos e, conseqüente, análise de consistência geométrica. A segunda, destinada à confecção e validação de modelos representativos de cenários estáticos e da reprodução da dinâmica veicular em SDV.

SDV vêm sendo empregados desde a década de 60 em diversas áreas, como: (i) a de capacitação de condutores, (ii) estudos direcionados à análise do comportamento/desempenho do condutor e (iii) avaliação de questões associadas à segurança viária. Com o

avanzar da capacidade de processamento das interfaces com o usuário (monitores, óculos de realidade virtual, dispositivos de entradas de dados, etc.) e das tecnologias de modelagem 3D, a utilização de SDV vêm se ampliando de forma significativa (Allen et al., 2011).

A utilização de SDV apresenta vantagens e desvantagens, sendo estas últimas associadas às suas limitações. As vantagens e limitações dos Simuladores de Direção Veicular – SDV são sintetizadas na Tabela 1 por Rangel (2015).

Vantagens	Limitações
<b>Controle experimental:</b> É possível controlar as variáveis do entorno rodoviário e identificar a influência de cada uma no comportamento do condutor. É possível reproduzir as mesmas condições de estudo para diferentes condutores.	<b>Motivação:</b> As viagens carecem de um motivo, o que é um fator fundamental no comportamento adotado pelo condutor no mundo real.
<b>Eficiência:</b> Capacidade de testar vários condutores e cenários de direção, de forma rápida e econômica.	<b>Percepção de risco:</b> o condutor sabe que não há risco de sofrer acidentes e aceita maiores riscos no simulador.
<b>Segurança:</b> Os condutores estão livres de qualquer tipo de ferimento.	<b>Simulation sickness:</b> alguns condutores podem sentir enjoo e devem ser retirados do experimento.

Tabela 1: Vantagens e limitações dos simuladores de direção. Fonte: Rangel (2015).

Os SDV podem se apresentar em diversas configurações. Quanto à questão da visualização dos cenários virtuais eles podem ser classificados como: (i) de projeção ou (ii) imersivos. Quanto à questão de fornecerem estímulos de movimento e vibração: (i) estáticos ou (ii) dinâmicos. Por fim, segundo Jamson (2011), os simuladores podem ser classificados segundo sua sofisticação como: (i) baixo nível, (ii) nível médio e (iii) alto nível.

A utilização do simulador apropriado é uma questão relevante ao projeto de experimento. Outro aspecto a ser considerado decorre do processo de validação a ser utilizado. Caird e Horrey (2011) avaliam seis diferentes técnicas para validação dos simuladores: (i) validade absoluta, (ii) validade relativa, (iii) validade externa, (iv) validade interna, (v) fidelidade física e (vi) fidelidade psicológica.

A utilização de SDV para fins de capacitação e treinamento de condutores é a mais comum. No Brasil, segundo Rodrigues e Santos (2015), existem quatro empresas fornecedoras de SDV homologados com certificações emitidas pelos Organismos Certificadores de Produtos (OCP), acreditados pelo INMETRO e credenciados pelo Departamento Nacional de Trânsito (Denatran). Sua utilização para estudos e pesquisas não apresenta a difusão verificada na área de capacitação. Segundo Rangel (2015) em 2008, um instituto de pesquisa da França fez um cadastro dos principais centros de pesquisa em simuladores de direção no mundo. Registraram-se mais de 40 simuladores dedicados à pesquisa e outros 5 dedicados ao desenvolvimento corporativo de veículos, a maioria deles localizados nos Estados Unidos, na Europa e na Austrália.

Além das iniciativas comerciais, voltadas principalmente ao treinamento e requalificação de condutores profissionais, destacam-se iniciativas voltadas a pesquisa, como por exemplo o DriS, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP e de grupos que visam estabelecer um formato de representação de sistemas viários, tais como o RoadXML e o OpenDRIVE. Todas essas iniciativas requerem grupos de pesquisadores altamente especializados em temas computacionais, bem como em transportes, tornando a replicabilidade dos projetos em outras instituições de pesquisa, limitadas.

Uma alternativa às instituições que desejam desenvolver estudos em SDV, apesar de contarem com recursos financeiros e técnicos limitados, é a utilização de plataforma de jogos (*engines*) nos seus projetos de experimentos. As plataformas de jogos, conhecidas por

engines, permitem a construção de cenários estáticos e dinâmicos na elaboração de um “jogo” específico. O “jogo” criado é concebido de forma a atender requisitos previamente estabelecidos em um Projeto de Experimento.

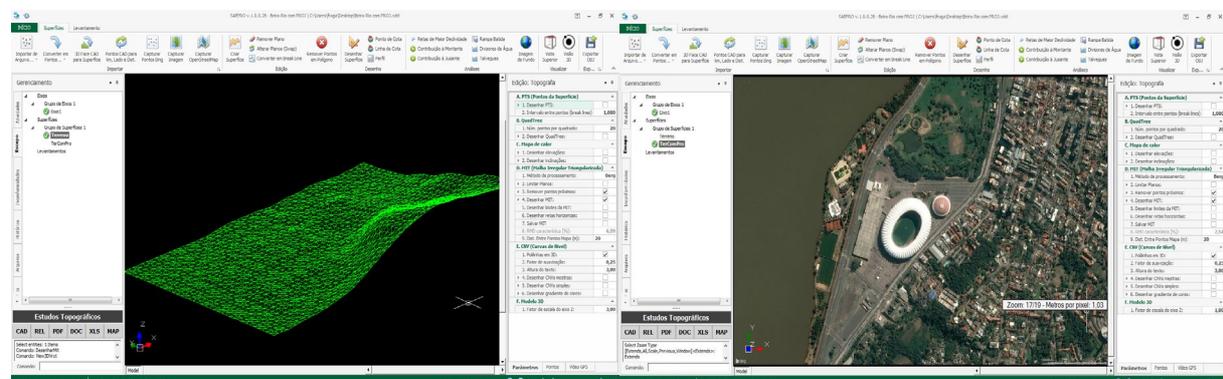
### 3 MÉTODO

Este estudo apresenta a compilação de quatro procedimentos em um método para construção semiautomatizada de modelos tridimensionais realísticos, para uso em SDV. Os procedimentos utilizam bases de dados de livre acesso, georreferenciadas (lat, long). A planificação para coordenadas cartesianas UTM (Universal Transversa de Mercator) utilizou o *datum* SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

#### 3.1 Obtenção da superfície do terreno

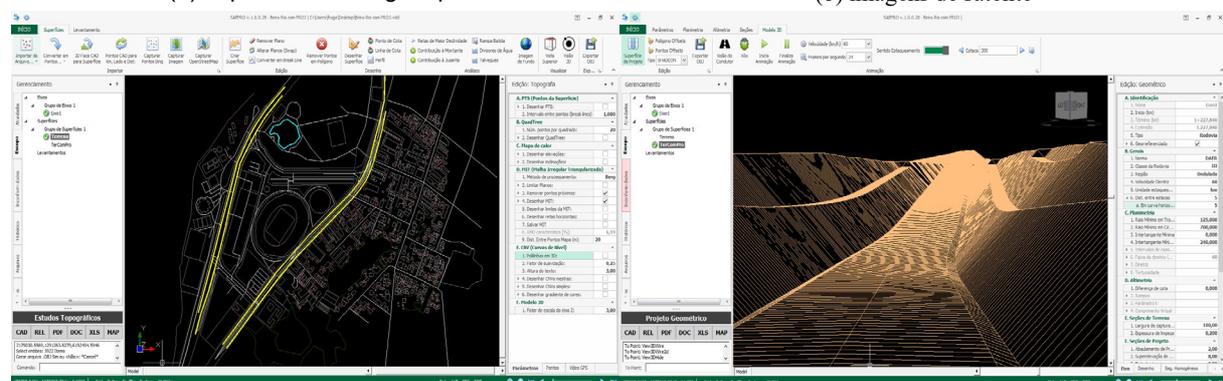
O primeiro procedimento utiliza APIs (*Application Programming Interface*) do Bing Maps para obter informações de elevações em segmentos da superfície terrestre. As elevações resultam de um modelo tridimensional da superfície terrestre concebido com pontos espaçados a cada 3” de arco (aproximadamente 90 metros). A informação das elevações é dada com precisão métrica, e resulta da interpolação de um ponto com coordenadas lat long conhecidas sobre a superfície (García et al., 2018).

O Bing Maps permite realizar consultas em formato matricial com no máximo 1024 pontos (linha x coluna  $\leq 1024$ ). De forma a superar a limitação imposta pelo Bing Maps e, verificando-se que este não limita o número de consultas, foi implantado um procedimento de consulta denominado de matriz de matrizes. Tal procedimento garante que se possa realizar consulta com centenas de milhares de pontos. A Figura 1a apresenta a malha regular retangular que caracteriza uma superfície utilizada como modelo para este artigo.



(a) superfície do Bing Maps

(b) imagens de satélite



(c) edifícios do OpenStreetMap

(d) corpo estradal

Figura 1: Método para desenvolver modelos tridimensionais realísticos.

### 3.2 Obtenção de imagens de satélite

Outro conjunto de APIs do Bing Maps permite a obtenção de imagens de satélites e mapas com resolução máxima de 2000 x 1500 pixels para coordenadas lat long centrais. O Bing Maps oferece 19 níveis de zoom para a consulta de mapas e imagens de satélite (Tabela 2, adaptada de MICROSOFT (2018b)). No nível de zoom 19, um pixel representa, aproximadamente, 30 centímetros, sobre a linha do Equador.

Nível Zoom	Escala (m/pixel)								
1	78.271,52	5	4.891,97	9	305,75	13	19,11	17	1,19
2	39.135,76	6	2.445,98	10	152,87	14	9,55	18	0,60
3	19.567,88	7	1.222,99	11	76,44	15	4,78	19	0,30
4	9.783,94	8	611,50	12	38,22	16	2,39		

Tabela 2: Relação nível de zoom com escala, para a linha do Equador.

Para outras latitudes é necessário proceder à correção do fator de escala conforme as Eq. 1 e 2 (García et al., 2018).

$$M_r = \frac{156.543,04 \times \cos(lat)}{2^Z} \quad (1)$$

$$M_e = 1 : \frac{R \times 39,37 \times 156.543,04 \times \cos(lat)}{2^Z} \quad (2)$$

Onde:

$M_r$  = resolução do mapa (metros/pixel)

$M_e$  = escala de representação (1:X)

lat = latitude (distância ao equador em ° decimais)

Z = nível de zoom (de 1 a 19)

R = resolução da tela (pixels/polegada)

Com a definição dos elementos lat lng do centro da imagem (-30.0655,-51.235), nível de zoom (19) e tamanho em pixels (2000,1500) é possível construir a URL de consulta para obter uma imagem de satélite ou mapa para uma região.

A Figura 1b apresenta a captura da imagem de satélite de uma região na cidade de Porto Alegre, Brasil. A mesma pode ser obtida a partir da URL a seguir: <https://dev.virtualearth.net/REST/v1/Imagery/Map/Aerial/-30.0655,-51.235/19?mapSize=2000,1500&format=jpeg&key=AnvigPPek246ERcq610E5buq5ZMAnHAaL4bR39pgPFOtajjQ-2B2XLoRzTrk2Agd>

### 3.3 Obtenção da volumetria de edificações

Utilizando a base de dados livre do projeto de mapeamento colaborativo OpenStreetMap é possível construir a volumetria das edificações em ambiente tridimensional. A consulta é realizada sobre uma região previamente selecionada no site <https://www.openstreetmap.org>. O arquivo gerado apresenta padrão XML (Extensible Markup Language) com objetos do tipo (i) node, (ii) way e (iii) relation, além de inúmeras propriedades (tags), destacando-se o número de pavimentos das edificações.

O procedimento computacional desenvolvido faz a leitura do arquivo XML, interpretando tais propriedades e elaborando um desenho 2D e 3D (bi e tridimensional) dos objetos contidos neste (Figura 1c e Figura2). Para a representação tridimensional de uma edificação a altura da

mesma é definida a partir da propriedade número de pavimentos multiplicada por um parâmetro. O arquivo XML não apresenta dados para a coordenada Z (altitude). De forma a posicionar a edificação em uma altitude específica o procedimento computacional avalia as coordenadas X e Y dos pontos que formam a edificação e submete estes a uma rotina que determina a coordenada Z sobre a superfície do terreno.

### 3.4 Construção do corpo estradal

A construção do corpo estradal tem por objetivo a representação de cenário tridimensional real e/ou fictício para estudos e projetos de experimento em SDV. É muito importante poder reproduzir com fidelidade retas e curvas horizontais (planimetria), rampas e curvas de concordância verticais (altimetria), bem como as seções transversais: larguras, superlargura, superelevação, taludes, etc. Para tanto, foram utilizadas as ferramentas de projetos geométrico, terraplenagem e sinalização do software SAEPRO – Sistema Avançado para Estudos e Projetos Viários. O software decorre da parceria de empresas de consultoria do setor de infraestruturas com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, com certificado pelo Instituto Nacional da Propriedade Industrial INPI (INPI, 2016).

A superfície original do terreno (regular e retangular) é editada de forma a incorporar uma superfície irregular polar. Para tanto, é utilizado o Método de Berg et al. (1997), na construção de uma superfície por Triangulação de Delaunay (Figura 2).

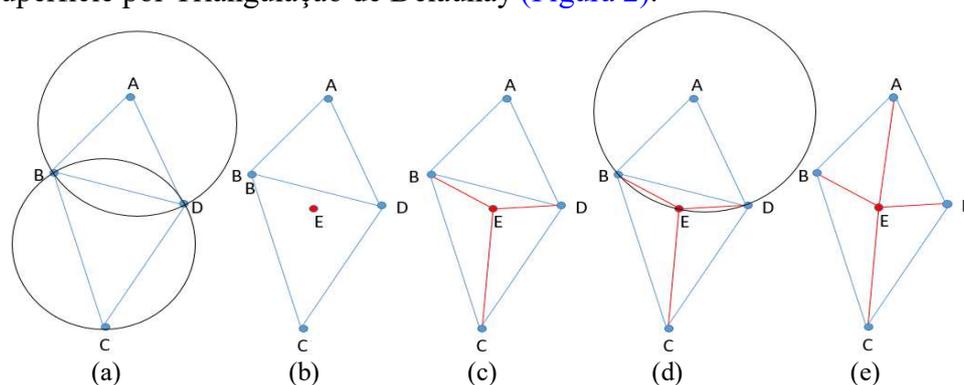


Figura 2: Método de Berg na Triangulação de Delaunay.

Uma superfície por Triangulação de Delaunay apresenta solução única com triângulos criados de forma que circunferências circunscritas a estes não contenham nenhum outro ponto – Função InCircle (Figura 2a). O Método de Berg et al. (1997) propõem a inserção e análise de cada um dos pontos, identificando o triângulo “pai” ao qual este pertence (na Figura 2b o ponto E está contido no triângulo BCD). É realizada a subdivisão do triângulo “pai” em três novos triângulos “filhos” incorporando o ponto na malha (Figura 2c). Os novos triângulos são avaliados como válidos a partir da Função InCircle. Na Figura 2d observa-se uma triangulação inválida para o triângulo BED. A correção é realizada por uma rotina denominada Swat que inverte a divisão do quadrilátero ABED de sua triangulação original para uma válida pelo Método de Delaunay. É importante ressaltar que alterações Swat, por gerarem novas configurações de triângulos expandem a fronteira de análise.

O conjunto formado permite representar a rodovia com seções transversais equidistantes de um metro e precisão altimétrica de um milímetro (o que permite representar superelevações), enquanto os demais elementos, que não compõem o corpo estradal, são representados por pontos distantes de 30 em 30 metros, com precisão altimétrica de um metro (Figura 3). Essa proposta visa oferecer o maior detalhamento possível, minimizando o tamanho do arquivo e o tempo de processamento. A Figura 1d apresenta um exemplo de seção transversal com a ocorrência de sarjetas e banquetas, além dos dispositivos mencionados anteriormente.

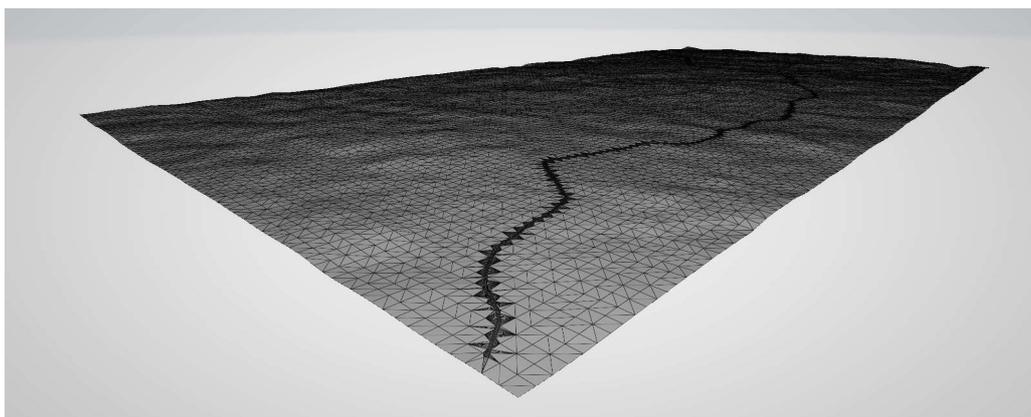


Figura 3: Malha composta retangular/polar.

Pesquisas sobre dinâmica veicular para SDV vêm sendo realizadas pelo grupo. É possível destacar: aplicação de método de integração numérica e equações diferenciais Runge y Kutta 4 a um modelo de simulação longitudinal de dinâmica (Di Rado et al., 2011a), análise das forças que atuam na interface pneu-rodovia: modelos de simulação da aceleração (Di Rado et al., 2013a), modelo de simulação computacional em tempo real de aceleração de um automóvel em diferentes superfícies de rolamento (Di Rado e García, 2013b), modelo de simulação de desaceleração de um veículo de passeio terrestre utilizando frenagem de motor (Di Rado et al., 2014), importância da frenagem de motor em rodovias onduladas e montanhosas: simulação computacional (Di Rado et al., 2016a), modelo de simulação de desaceleração de um automóvel utilizando frenagem por fricção (Di Rado et al., 2016b), modelo de simulação de trânsito de um veículo de passeio em trajetória curva (Di Rado et al., 2017) e simulação e importância do desempenho de um veículo de passeio em trajetória curva estável (Di Rado et al., 2018).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para avaliar na prática o método descrito anteriormente, este foi aplicado para a construção de um cenário virtual no estudo de Andriola et al. (2021). Nesse estudo foi realizado o processo de validação do simulador de direção imersivo do Laboratório de Sistemas de Transportes (LASTRAN) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em termos relativos (análise comparativa), absolutos (análise estatística), e pela estimação de modelos lineares simples. O resultado da aplicação do método descrito no capítulo 3 é apresentado na Figura 4, para um mesmo local em ambos os ambientes real e virtual.



Figura 4: Cenário real (esquerda) e virtual (direita).

A partir da construção do cenário, o estudo envolveu a captura de dados de velocidade dos ambientes real e virtual, para um segmento de 13 quilômetros de uma rodovia rural, de pista simples, e em terreno ondulado do Brasil. Um total de 25 participantes realizaram o experimento, sendo 76% homens, com idade média de 33,4 anos e desvio padrão de 10,95 anos. No contexto da experiência na direção, os motoristas possuíam em média 14,17 anos de habilitação, com desvio padrão de 10,27 anos. Os resultados da direção dos participantes no ambiente real e virtual podem ser observados na [Figura 5](#), para os sentidos de ida e volta. Os vales observados na imagem coincidem com a presença de curvas horizontais, que totalizam 17 em todo o percurso.

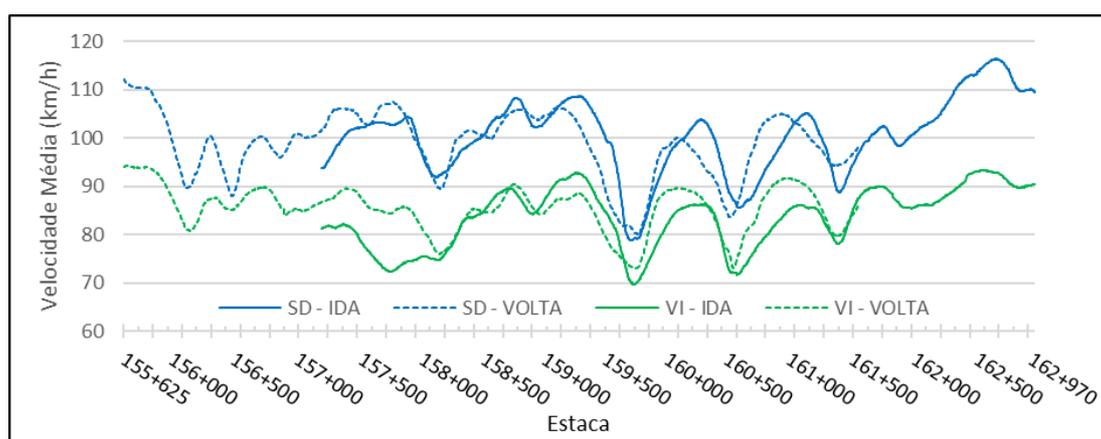


Figura 5: Dados contínuos de velocidade média.

A partir da [Figura 5](#) a validade relativa pode ser observada, tendo em vista variações de velocidade na mesma direção e na mesma ordem de grandeza para os dois ambientes. A validade absoluta, no entanto, não foi observada, pois a pesar de alguns segmentos não rejeitarem a hipótese nula (velocidades do veículo instrumentado e do simulador de direção fazem parte da mesma população), o poder estatístico foi baixo, tendo em vista a elevada variabilidade observada. Em relação aos modelos lineares estimados, estes representaram bom ajuste aos dados, principalmente para segmentos em curvas ( $R^2=0,74$ ). Assim como verificado nesse estudo, a validade absoluta é raramente obtida em estudos com simuladores de direção, no entanto, para o mesmo ser considerado um ferramenta de pesquisa útil, a validade relativa é suficiente e necessária ([Törnros, 1998](#)).

Outros dois importantes elementos para a análise do método proposto são a resposta dos participantes em relação ao realismo do cenário e a ocorrência do mal estar na direção. Esses dois elementos foram avaliados a partir de um questionário de presença adaptado de [Witmer et al. \(2005\)](#) e do questionário de mal estar apresentado em [Carvalho, Costa e Nardi \(2011\)](#). Para a primeira análise, foi observado um leve aumento nos sintomas dos participantes após a direção simulada, em especial os sintomas “náuseas”, “cabeça pesada”, “mal-estar generalizado” e “visão embaçada” e “dificuldade de manter o foco”. Em relação à percepção de realismo, os itens melhores avaliados pelos participantes tem relação com a imersão do ambiente, (concentração na direção, identificação dos sons e isolamento do ambiente externo). Esse resultado demonstra a relevância do uso do óculos de realidade virtual para a construção de um ambiente imersivo.

## 5 CONCLUSÕES

Projetos de experimentos em Simuladores de Direção Veicular – SDV são complexos, apresentando significativo investimento em tempo e recursos, na construção de cenários

estáticos. É importante destacar a relevância da produção de cenários realísticos e ficcionais de forma semiautomatizada, uma vez que esta não é atividade fim dos projetos, mas um meio indispensável.

O presente artigo, intitulado **Desenvolvimento de um Simulador de Direção Veicular – SDV em plataforma Unity**, reúne os esforços computacionais desenvolvidos pelos autores para a construção de um SDV de baixo custo financeiro e tecnológico.

A utilização do SDV em um projeto de experimento, de dissertação de mestrado intitulada **Análise da validade comportamental de um simulador de direção imersivo**, indica que a tecnologia desenvolvida representa uma significativa contribuição para laboratórios que desenvolvem pesquisas em transportes. Considera-se que o presente estudo possa contribuir na elaboração de Projetos de Experimento em Simuladores de Direção Veicular – SDV mais eficientes e, conseqüentemente, nas pesquisas sobre segurança viária.

## REFERÊNCIAS

- Allen, R., Rosenthal, T., & Cross, M. (2011). History of Driving Simulation. Em D. Fisher, M. Rizzo, J. Caird, & J. Lee, Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology. Boca Raton, USA: CRC Press.
- Andriola, C. L. (2021). Validação comportamental de um simulador de direção imersivo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Berg, M. et al. Computational Geometry: Algorithms and Applications. 2. ed. Berlin: Springer, 1997.367 p
- Caird, J., e Horrey, W. (2011). Twelve Practical and Useful Questions about Driving Simulation. Em D. Fisher, M. Rizzo, J. Caird, & J. Lee, Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology. Boca Raton, USA: CRC Press.
- Carvalho, M. R. de, Costa, R. T. da, & Nardi, A. E. (2011). Simulator Sickness Questionnaire: tradução e adaptação transcultural. *Jornal Brasileiro de Psiquiatria*, 60(4), 247–252. <https://doi.org/10.1590/S0047-20852011000400003>
- Di Rado, G. R.; Devincenzi, G. H.; García, D. S. P. (2011a) Aplicación de método de integración numérica de ecuaciones diferenciales Runge y Kutta 4 (RK4) a um modelo de simulación longitudinal de dinámica. In: Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones (19. : 2011 nov. 1-4 : Rosario, Argentina). [Anales], [Santa Fé : Asociación Argentina de Mecánica Computacional, 2011]. p. 2907-2927 , il.
- Di Rado, G. R.; García, D. S. P.; Devincenzi, G. H. (2013a) Análisis de las fuerzas que actúan en la interface neumático-carretera: modelos de simulación de aceleración. In: Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones (20. : 2012 nov. 19-22 : Mendoza, Argentina). [Trabajos presentados] [recurso eletrônico]. Santa Fé: Asociación Argentina de Mecánica Computacional, 2013. p. 2333-2362 , il. color.
- Di Rado, G. R.; García, D. S. P. (2013b) Modelo de simulación computacional em tiempo real de aceleración de un automóvil en diferentes superficies de rodamento. In: Congreso de Pesquisa e Ensino em Transportes (27. : 2013 nov. 4-8 : Belém, PA). [Anais] [recurso eletrônico], [Rio de Janeiro: Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2013]. [12] p. , il. color.
- Di Rado, G. R.; García, D. S. P.; Devincenzi, G. H. (2014) Modelo de simulación de desaceleración de un vehículo de paseo terrestre utilizando freno de motor. In: Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones (21. : 2014 set. 23-26 : San Carlos de Bariloche). [Anales], [Bariloche : Departamento de Mecánica Computacional, 2014]. p. 2287-2301 , il.
- Di Rado, G. R. et al. (2016a) Importancia del freno de motor en carreteras onduladas y montañosas: simulación computacional. In: *Revista Carreteras* [recurso eletrônico], Madri

- N. 206 (2016), p. 64-71 , il. color.
- Di Rado, G. R.; García, D. S. P.; Devincenzi, G. H. (2016b) Modelo de simulación de desaceleración de un automóvil utilizando freno por fricción. In: Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones (22. : 2016 : Ciudad de Córdoba, Argentina). [Anales] [recurso eletrônico], [Santa Fe] : Asociación Argentina de Mecánica Computacional, c2016. p. 2755-2766 , il.
- Di Rado, G. R. et al. (2017) Modelo de simulación de tránsito de un vehículo de paseo terrestre en trayectoria curva. In: Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones (23. : 2017 : La Plata, Argentina). [Anales] [recurso eletrônico], [Santa Fe] : Asociación Argentina de Mecánica Computacional, c2017. p. 1111-1136 , il.
- Di Rado, G. R. et al. (2018) Simulación e importancia del desempeño de un vehículo de paseo en trayectoria curva estable. In: Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET (32. : 2018 : Gramado, RS). Anais [recurso eletrônico], Rio de Janeiro: ANPET, 2018. p. 3526-3537 , il.
- García, D. S. P. et al. (2018) Diretrizes para o desenvolvimento de um sistema avançado para estudos e projetos viários: a utilização de big data georreferenciados. In: Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET (32. : 2018 : Gramado, RS). Anais [recurso eletrônico], Rio de Janeiro: ANPET, 2018. p. 3538-3549 , il.
- INPI (2016) Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR5120150003585, título: "SAEPRO", Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito: 01/12/2014. Autores: GARCIA, D. S. P.; SANTOS, F. F. F. ; WANDSCHER, M. A. SAEPRO. 2014, Brasil.
- ITF (2016) Zero Road Deaths and Serious Injuries: Leading a Paradigm Shift to a Safe System. OECD Publishing, Paris. doi:10.1787/9789282108055-em
- Jamson, H. (2011). Cross-Platform Validation Issues. Em D. Fisher, M. Rizzo, J. Caird, & J. Lee, Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology. Boca Raton, USA: CRC Press.
- MICROSOFT (2021a) Bing Maps. Disponível em: <<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/dd877180.aspx>>. Acesso em: 22 mar. 2021.
- MICROSOFT (2021b) Visual Studio. Disponível em: <<https://visualstudio.microsoft.com/pt-br/>>. Acesso em: 09 jun. 2021.
- OPENSTREETMAP (2021) Visual Studio. Disponível em: <<https://www.openstreetmap.org/#map=4/-15.13/-53.19>>. Acesso em: 09 jun. 2021.
- Rangel, M. A. C. (2015) Análise da percepção da sinalização vertical por parte do condutor, utilizando ambientes simulados de direção: um estudo de caso na rodovia br-116. Dissertação de mestrado. EESC, Universidade de São Paulo – USP.
- Rodrigues, D. A. e Santos, T. P. (2015) O caso dos simuladores de direção veicular: dificuldades do arranjo federativo na política de trânsito. In: VIII Congresso CONSAD de Gestão Pública. Brasília, 2015
- Törnros, J. (1998). Driving behaviour in a real and a simulated road tunnel - A validation study. Accident Analysis and Prevention, 30(4), 497–503. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(97\)00099-7](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(97)00099-7)
- TRB (2012) Human Factors Guidelines for Road Systems. NCHRP Report 600. Second Edition. Project 17-47. Transportation Research Board. ISSN 0077-5614. ISBN 978-0-309-25816-6. Washington, D.C.
- WHO (2018) Global Status Report on Road Safety 2018, World Health Organization. Genebra: [s.n]. [s. l.], 2018.
- Witmer, B. G., Jerome, C. J., & Singer, M. J. (2005). The Factor Structure of the Presence Questionnaire. In Presence (Vol. 14, Issue 3).