



UMA ANÁLISE COMPARATIVA DAS FUNCIONALIDADES DE SOFTWARES DE CÓDIGO-ABERTO PARA PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES

Murilo Miguel Narciso
Orivalde Soares da Silva Júnior

Instituto Militar de Engenharia

Resumo: O planejamento de transportes é uma disciplina aplicada envolvendo a legislação local e o desenvolvimento de estruturas físicas, incluindo estradas, avenidas, ciclovias e calçadas, com foco no maior desenvolvimento econômico, social e ambiental. Já os planos de transportes são uma combinação de análises geográficas e de estratégias de longo prazo considerando uma visão regional e/ou nacional. Com o avanço tecnológico, cada vez mais novas ferramentas surgem para auxiliar o homem, inclusive na área de transportes. Novos softwares de simulação estão sendo produzidos, sendo estas, ferramentas poderosas para gerar um embasamento técnico para o engenheiro de tráfego ou responsável técnico optar por projetos que sejam mais sustentáveis, econômicos e com elevado impacto social. Porém, por serem softwares especializados para simulação de transportes, geralmente possuem custos elevados para aquisição. Diante disso, muitos municípios, principalmente os de pequeno porte, não possuem condições financeiras para a compra e uso desse software. Assim, o presente trabalho busca por uma alternativa gratuita e que possa ser utilizada nesses municípios. Para isso, realizou-se uma análise dos softwares de código-aberto mais citados na literatura, comparando suas funcionalidades e facilidade de uso, destacando sua aplicabilidade em contextos urbanos como Gaza (Almasri & Al-Jazzar, 2013) e Barcelona (Campo & D'Autilia, 2017). A análise dessas ferramentas de planejamento de transporte permite apresentar o software de código-aberto que mais se ajuste à necessidade do usuário.

Palavras-chave: planejamento de transportes, análise geográfica, software de código-aberto.

Abstract: Transport planning is an applied discipline involving local legislation and the development of physical structures, including roads, avenues, cycle paths and sidewalks, with a focus on further economic, social and environmental development. Transport plans, on the other hand, are a combination of geographic analyzes and long-term strategies considering a regional and/or national vision. With technological advancement, more and more new tools are emerging to help man, including in the area of transport. New simulation software is being produced, which are powerful tools to generate a technical basis for the traffic engineer or technical manager to choose projects that are more sustainable, economical and with a high social impact. However, as they are specialized software for transport simulation, they generally have high acquisition costs. In light of this, many municipalities, especially those of small size, do not have the financial means to purchase and use such software. Thus, this present work seeks a free alternative that can be employed in these municipalities. For this purpose, an analysis was carried out on the most cited open-source software in the literature, comparing their functionalities and ease of use, highlighting their applicability in urban contexts such as Gaza (Almasri & Al-Jazzar, 2013) and Barcelona (Campo & D'Autilia, 2017). The analysis of these transportation planning tools allows presenting the open-source software that best suits the user's needs."



Keywords: transport planning, geographic analyzes, open-source software.



1. INTRODUÇÃO

Desde a criação de mapas até a elaboração de simulações de transportes, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) sempre têm auxiliado com o planejamento e logística da mobilidade urbana. Para o século XXI, um bom planejamento de transportes tem como objetivos adequar a oferta à demanda de passageiros e cargas e reduzir a poluição ambiental, sonora e visual, além de implementar e incentivar modalidades de transportes ativos como o uso de bicicletas ou deslocamento a pé. Os SIGs permitem realizar a análise de rotas, a edição da rede de transporte e a visualização dos dados geográficos num mapa, tornando-os fundamentais para uma boa análise técnica. Para otimizar a eficácia desses planos, é recomendável adotar um modelo que englobe elementos transacionais, os quais estão ligados à simplificação do comércio e ao aprimoramento logístico da região (Lovelace et al., 2017).

A importância dos sistemas de transporte tem sido longamente explorada, não medindo esforços para formar o campo do SIGs para Transportes (SIG-T). Métodos de estimativa de matrizes de origem-destino, planejamento de rotas e análise de rede são proeminentes na literatura e indicam inúmeros trabalhos. Podemos definir essa área de estudo como ciência de dados geográficos, um campo ainda emergente que foca na integração da ciência de dados e do estudo geográfico. Esse setor possui também diversas ferramentas como a síntese de uma população e a extração da rede de tráfego de um mapa. Tais ferramentas ainda estão em análise sobre suas capacidades, com enfoque nos programas de código-aberto. O interesse em estudar as ferramentas de código-aberto também está na transparência e participação da sociedade no projeto, podendo assim refletir as prioridades locais da população.

Mas afinal, qual é a importância de estudar o planejamento de transporte? Segundo o Artigo 6º da Constituição Federal, é direito social o acesso ao transporte, direito de ir e vir, pois, sendo direito base para os outros, sem ele não há o acesso à educação e à saúde. No âmbito ambiental o transporte é responsável por um quarto da emissão global de poluentes e gases do efeito estufa. A ONU em 2019 classificou os acidentes de trânsito como principal causa de morte de jovens de 5 a 29 anos (Rodrigues, 2019). Todos estes fatores elucidam a urgência de uma atualização tecnológica no processo de produção dos planejamentos de mobilidade.

Dessa forma, na sociedade brasileira onde muitos municípios não possuem um plano de mobilidade definido e o trabalho do Estado por vezes não chega até todas as cidades devido à grande extensão territorial do país, o estudo de softwares de código-aberto para planejamento de transportes aparece em primeiro plano, mostrando opções de engajamento social e transparência, além de facilitar a criação do plano de mobilidade urbana (TIBONI, 2014).

O objetivo deste artigo visa realizar uma pesquisa sobre os softwares de código-aberto para planejamento de transportes, comparar suas funcionalidades e apresentar opções de uso pelos municípios de pequeno e médio porte na elaboração dos seus planos de mobilidade urbana.



2. FERRAMENTAS DE CÓDIGO ABERTO PARA ANÁLISE GEOGRÁFICA NO PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE

Mudanças tecnológicas, ambientais e sociais estão demandando ferramentas acessíveis para a análise geográfica no planejamento de transportes. Nesta seção são identificados os softwares proprietários e de código-aberto mais proeminentes, os quais tem sido utilizado na simulação dos sistemas de transportes para apoio à elaboração dos planos de mobilidade urbana.

Softwares de código-aberto para o tratamento dos dados geográficos foram desenvolvidas no ambiente dos softwares livres (Dhir e Dhir, 2017). Eles são classificados por cinco estágios: coleta de dados, processamento, estabelecimento de rotas, modelagem e visualização. Baseado nas ferramentas identificadas, elas podem também ser classificadas com base na interface com o usuário:

- Interface de linha de comando (CLI), sobretudo controlada pela digitação de comandos;
- Interface gráfica com o usuário (GUI), controlado por cliques do mouse;
- Interface *web* com o usuário (WUI), ferramenta que os usuários acessam através de um navegador *web*;
- Interface de programa de desenvolvimento web (API - *Application Programming Interface*), acessada pela Internet.

2.1. Software de código-aberto

A liberdade é essencial para os softwares de código-aberto, de forma que também leva o nome de software livre, definido pela Free Software Foundation (FSF) como: software que permite que o usuário compartilhe, estude e modifique o código. Essa adaptabilidade é boa para a colaboração, a criação de suporte simultâneo e criação de comunidades de desenvolvedores e usuários, demonstrando que os ecossistemas destes softwares apresentam rápido desenvolvimento. É inviável analisar todas as opções de softwares que podem ser usadas para planejamento geográfico de transportes, existem literalmente milhares de projetos de softwares escritos em dezenas de linguagens de programação, muitas das quais não são atualizadas, o que dificulta o uso por planejadores de transporte (Coelho et al., 2020).

2.2. Critérios da pesquisa

Para identificar as ferramentas de código-aberto para o planejamento de transportes, uma pesquisa aprofundada foi usada para incorporar projetos citados em artigos científicos, em projetos disponíveis em repositórios de código-aberto, com um mínimo de popularidade. A pesquisa foi realizada utilizando as plataformas do GoogleScholar para identificar o número de citações (Figura 1) e do GitHub para identificar o número de estrelas de cada projeto.

×
Pesquisa avançada
🔍

Encontrar artigos

com **todas** as palavras

com a **frase exata**

com **no mínimo uma** das palavras

sem as palavras

onde minhas palavras ocorrem em qualquer lugar do artigo
 no título do artigo

Exibir artigos **de autoria** de
 Exemplos: "Guilherme Bittencourt" ou McCarthy

Exibir artigos **publicados** em
 Exemplos: Saber Eletrônica ou Revista Ciência Hoje

Exibir artigos **com data** entre —
 Exemplo: 1996

Figura 1: Ilustração dos termos de pesquisa do Google Scholar para identificar softwares de código aberto para análise geográfica no planejamento de transportes

As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados da pesquisa com os principais softwares de planejamento de transportes. Esta pesquisa consiste numa atualização da pesquisa realizada por Lovelace (2022). Na Tabela 1 foram listados apenas os softwares que foram destacados por apresentarem elevado uso por profissionais. Destaca-se que, apesar de se ter sido buscado apenas por opções com licença de software livre, a pesquisa também retornou outros softwares. Observa-se que o MATSim é o mais citado.

Tabela 1: Amostra de software de modelagem de transporte em uso por profissionais.

Software	Empresa/Desenvolvedor	Sede da Empresa	Licença	Citações
MATSim	TU Berlin	Alemanha	Software Livre (GPL)	6250
Visum	PTV	Alemanha	Proprietário	544
ArcMap	ESRI	EUA	Proprietário	6110
SUMO	DLR	Alemanha	Software Livre (EPL)	716
TransCAD	Caliper	EUA	Proprietário	666
Emme	INRO	Canada	Proprietário	201
Cube	Citilabs	EUA	Proprietário	563
sDNA	Cardiff University	Reino Unido	Software Livre (GPL)	81

Fonte: Adaptado de Lovelace (2022)

Apesar do elevado destaque do MATSim livre (Horni et al. 2016), em número de citações, outro indicador utilizado para medir a relevância dos softwares foi o número de estrelas do projeto no repositório do Github. O número de estrelas representa o número de pessoas que marcaram o projeto como favorito, para posteriormente, poder acessar novamente a partir da sua lista de favoritos no Github. A Tabela 2 mostra que o MATSim tem um número moderado de estrelas (285) quando comparado com o número de estrelas do A/B Street, que tem mais de 20 vezes o número de estrelas, mas nenhum artigo acadêmico que pudesse ser achado em domínio público até 2023.

Tabela 2: Ferramentas de código-aberto para análise geográfica no planejamento de transporte.

Ferramenta	Tipo	Licença	Linguagem	Estrelas	Citações	Referências
CLI						
OSMnx	Python	MIT	Python	2496	1500	Boeing(2017)
SUMO	Standalone	EPL-2.0	C++	736	716	Lopez et al.(2018)
UrbanSim	Python	BSD-3	Python	310	4720	Waddell (2002)
MovingPandas	Python	BSD-3	Python	307	64	Graser(2019)
MATSim	Standalone	GPLv2	Java	285	6250	Horni et al.(2016)
Scikit-mobility	Python	BSD-3	Python	251	129	Pappalardo et al.(2019)
Stplanr	R package	MIT	R	201	88	Lovelace and Ellison(2018)
Momepy	Python	MIT	Python	133	66	Fleischmann(2019)
Trip-simulator	JavaScript Python	MIT AGPLv3	JavaScript Python	117 105	NA 12	NA Blanchard and Waddell(2017)
spaghetti	Python	BSD-3	Python	60	24	Gaboardi et al.(2018)
urbanpy	Python	MIT	Python	16	23	NA
GUI						
A/B Street	Standalone	Apache-2.0	Rust	4896	671	NA
Veins	Standalone	GPLv2	C_	155	30	NA
AequilibraE	QGIS plugin	Custom	Python	57	71	Camargo(2015)
QNEAT3	QGIS plugin	GPLv3	Python	35	124	NA
Networks plugin	QGIS plugin	GPLv3	Python	9	39	NA
sDNA	QGIS plugin	GPLv3	C++	9	81	Cooper and Chiaradia(2020)
AwaP	QGIS plugin	GPLv3	Python	3	2	Majic and Pafka(2019)
WUI						
Citybound	Standalone	AGPLv3	Rust	6124	NA	NA
StreetMix	Hosted Service	BSD-3	JavaScript	440	251	Riggs et al.(2016)
flowmap.blue	Standalone	MIT	TypeScript	90	50	NA
Conveyal Analysis	Hosted Service	MIT	Java	19	28	NA
PCT	Hosted Service	AGPLv3	R	16	66	Lovelace et al.(2017)
TrajAnalytics	Standalone	BSD-3	JavaScript	NA	24	Shamal et al.(2019)

Fonte: Adaptado de Lovelace (2022)

Tabela 3: Comparação das capacidades e ferramentas dos softwares livres.

Ferramenta	Dld	Rou	Geo	Mod	Vis	Resolução	Tempo	Escala	Experiência
CLI									
OSMnx	si	si	so	si	so	r		c	2
SUMO		si	e	so	si	r	si	c	3
UrbanSim	so	so	si	si	so	r	si	c	2
MovingPandas	so		si	si	so	t		c	2
MATSim		si	e	so	si	a		c	3
Scikit-mobility	so	si	so	si	so	a		c	2
Stplanr	so	so	si	si	so	od		c	2
Momepy	so	so	si	si	so	r		c	2
Trip-simulator					si	t		c	2
Urbanaccess	so	so	si	si	so	r		c	2
spaghetti	so	si	si	si	si	r		c	2
urbanpy	so	so	si	so	so	r		c	2
GUI									
A/B Street		si	e	si	si	a	si	c	1
Veins		si	e	so	si	r	si	c	3
AequilibraE	so	so	so	si	so	r		c	2
QNEAT3	so	so	so	si	so	r		c	2
Networks plugin	so	so	so	si	so	r		c	2
sDNA		si	so	so	so	r		c	2
AwaP	so		so	so	so	r		c	2
WUI									
Citybound		si	e		si	a	si	c	1
StreetMix					si	p		p	1
flowmap.blue	so				si	od		g	1
Conveyal Analysis	so	so	e	si	si	r		c	3
PCT	so	so			y	od		n	1
TrajAnalytics				y	y	t		c	3

Fonte: Adaptado de Lovelace (2022)

'Dld', 'Rou', 'Geo', 'Mod' e 'Vis' se refere a Download, Criação de Rotas, Análise Geográfica, Capacidade de Modelagem e Visualização, respectivamente. O valor das células 'si', 'so' e 'e' significam sim com ferramentas internas, sim via interfaces com outros pacotes/programas e sim com capacidades de edição. 'a', 'od', 'p', 'r' e 't' referem-se a agente, origem-destino, ponto, rua e trajetória como o nível principal de resolução geográfica dos dados usados por cada ferramenta, respectivamente. A escala refere-se para a mais comum escala de análise que a ferramenta costuma trabalhar, com valores 'p', 'c', 'n' e 'g' referindo-se a ponto, cidade, nacional e escala global respectivamente. Experiência refere-se ao nível de experiência necessário para instalar, configurar e rodar a ferramenta, sendo 1 (fácil), 2 (intermediário) e 3 (experiência avançada).

É interessante destacar exemplos de uso dos softwares, para termos noção acerca da aplicação e potencialidades das ferramentas, além de conhecer também suas limitações. Um exemplo notável de aplicação bem-sucedida do MATSim foi a aplicação em Barcelona, para comparar e otimizar planos de mobilidade urbana (Campo & D'Autilia, 2017). Ao analisar dados de 2007 a 2016, observou-se uma melhoria geral na mobilidade, evidenciada pela redução no tempo de viagem, menor utilização de carros e transporte público, e aumento de meios sustentáveis, como bicicletas. O modelo contribuiu para alinhar o comportamento simulado com os



objetivos municipais, destacando áreas congestionadas e sugerindo estratégias locais para reduzir o impacto do tráfego.

Entretanto, ressalta-se que o MATSim é mais eficaz na avaliação de planos já existentes do que na formulação inicial. O estudo enfatiza a importância da integração de diferentes modos de transporte, indicando que a ausência de uma rede de ônibus pode prejudicar o sistema. Apesar das melhorias, algumas áreas permanecem congestionadas, evidenciando a necessidade de intervenções específicas. A pesquisa conclui que, embora o MATSim forneça uma ferramenta valiosa para a análise retrospectiva, sua eficácia depende da aplicação em cenários já estabelecidos.

Outro exemplo é a implementação do TransCAD em Gaza, a qual foi crucial para identificar áreas críticas de congestionamento, destacando a interseção Aljala-Omer Almokhtar como a mais impactada (Almasri & Al-Jazzar, 2013). Os resultados apontaram a necessidade de melhorias, instigando autoridades a considerar cenários de aprimoramento. A calibração do TransCAD na construção da rede e estimativa de fluxo de tráfego apresentou diferenças aceitáveis de 9.15% e 7.51% para direções opostas, abaixo de 10%. O que demonstra uma boa simulação por parte do software livre, permitindo que as autoridades possam simular melhorias sem ter de testá-las e prejudicar o tráfego. Embora forneçam insights valiosos, os resultados também evidenciam as limitações do TransCAD, especialmente na previsão futura e na necessidade contínua de atualizações da matriz O-D e atribuição de tráfego baseadas em novas contagens.

3. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

A análise geográfica é um importante e subestimado aspecto do planejamento de transporte, e estima ser um grande tema de desenvolvimento no futuro. No contexto de ferramentas para elaboração de políticas públicas urgentes, incluindo as crises de obesidade, poluição do ar e a emergência climática que tem sido declarada por algumas autoridades municipais – muitos planejadores de transporte foram indagados com novos projetos e planos sustentáveis, incluindo a redução do uso do transporte particular, maior uso do transporte coletivo, do uso da bicicleta e da caminhada.

Já no contexto de necessidade de argumentos, o banco de dados-aberto e a participação dos cidadãos garantem políticas com ações visando a integração e participação de toda sociedade, com soluções transparentes e acessíveis. No contexto de apelos por políticas baseadas em evidências, dados abertos e participação social – e compromissos políticos e ações que implementam tais princípios por atores nos níveis estadual e regional– há um ônus crescente sobre os profissionais para fornecer soluções que sejam transparentes, acessíveis e participativas.

As novas prioridades de planejamento também apresentam oportunidades, em termos de processos institucionais, mas também novas tecnologias que são explicitamente projetadas para permitir processos de planejamento mais participativos, transparentes e voltados para a comunidade. As soluções de código-aberto para as necessidades de planejamento de transporte são avançadas e, em um número crescente de áreas, mais avançadas do que o software proprietário. Concepções de ferramentas abertas que já são amplamente utilizadas sugerem que a adoção contínua de ferramentas abertas trará benefícios substanciais nos próximos anos e décadas.

A pesquisa apresentada neste artigo sugere que uma mudança para ferramentas de planejamento de código-aberto em geral pode enfrentar problemas mais amplos, incluindo a ‘crise do planejamento participativo’. Por outro lado, as ferramentas livres podem apoiar alfabetização de dados e na área de programação.

O artigo apoia a caracterização do software de código aberto como colaborativo, inovador e em



evolução. Esses recursos de ferramentas de código aberto permitirão que eles superem a competição e eventualmente dominem no campo do planejamento de transporte - como já aconteceu em campos, incluindo aprendizado de máquina (por exemplo, Abadi et al.; 2016) e desenvolvimento da internet, somente o tempo e as necessárias pesquisas adicionais sobre o assunto dirão. Independentemente dessa resposta, este artigo concluiu que soluções de código-aberto inovadoras e de alto desempenho já estão disponíveis no "nicho ecológico" da análise geográfica para planejamento de transporte. A natureza nascente e em rápida evolução dos ecossistemas de planejamento de transporte de código-aberto significa que há muitas direções frutíferas de pesquisas futuras, levantando 3 principais perguntas:

- Quais são as vantagens comparativas de diferentes ferramentas e suas combinações, em relação as diversas aplicações de planejamento de transporte? Isso envolve considerar fatores como eficiência computacional, facilidade de uso para programadores e acessibilidade para o público em geral.



- Quais obstáculos influenciam a adoção pela esfera público e privada e a popularização das principais ferramentas de código-aberto? Isso inclui questões relacionadas à disponibilidade de documentação abrangente e estudos de caso ilustrativos.
- Em quais contextos as ferramentas de código-aberto para planejamento de transporte e tomada de decisões baseadas em evidências tendem a ser mais eficazes e essenciais? Isso abrange cenários diversos, como variações de renda (alta e baixa), características urbanas ou rurais, bem como o espectro de regimes políticos, de democracias a governos autoritários.

Abordagens técnicas/computacionais podem abordar questões mais objetivas, como o desempenho relativo de diferentes mecanismos de roteamento e APIs de planejamento de transporte. De fato, há uma necessidade de pesquisa avaliando o potencial de ferramentas baseadas em “WebAPI” para planejamento de transporte, como o OpenTripPlanner, mencionado na Tabela 2, mas não discutido neste artigo devido a um diferente enfoque da pesquisa. Voltando ao “quadro geral” apresentado na Seção 1, fica claro que há fortes argumentos para uma mudança de paradigma no planejamento de transporte em geral. A atenção acadêmica tende a se concentrar nas mudanças necessárias no processo geral de planejamento, em vez das mudanças necessárias nas “ferramentas do comércio” do planejamento de transporte, apesar da pesquisa que defende a mudança na modelagem de transporte de praticantes (por exemplo, Hollander; 2016), perspectivas acadêmicas e de defesa. Com base em pesquisas anteriores e uma revisão das opções de código-aberto existentes, este documento destaca a importância não apenas dos processos e modelos, mas também das ferramentas usadas para projetar planos de transporte geograficamente específicos. As ferramentas de código aberto geram evidências com maior probabilidade de serem rigorosas, transparentes, reproduzíveis e compartilhadas do que as evidências geradas pelas ferramentas proprietárias estabelecidas. Intervenções de transporte baseadas em tais evidências abertas têm maior probabilidade de serem eficazes no cumprimento dos objetivos políticos. Intervenções eficazes são necessárias para melhorar o desempenho ambiental e de saúde dos sistemas de transporte em todo o mundo, para reduzir o número de vidas perdidas devido a acidentes e doenças respiratórias.

É interessante ver que estes softwares analisados já estão sendo empregados. O MATSim, aplicado em Barcelona, demonstrou eficácia na análise retrospectiva, alinhando-se aos objetivos municipais e sugerindo estratégias para redução do tráfego. Por outro lado, o TransCAD, utilizado em Gaza, ofereceu valiosos insights para intervenções locais, mostrando-se capaz de simular melhorias com diferenças aceitáveis. Contudo, ressaltamos a importância de considerar as limitações inerentes, como a dependência de dados históricos e a necessidade de atualizações contínuas para uma previsão precisa e adaptativa em cenários dinâmicos de transporte. Esses resultados sublinham a relevância dessas ferramentas, mas também destacam a importância de uma abordagem cautelosa em sua aplicação e interpretação.

Contudo, em uma análise mais profunda destes dois softwares, vale ressaltar que tanto o TransCAD quanto o MATSim apresentam características distintas que merecem uma análise detalhada. No contexto brasileiro, a capacidade desses softwares em se adaptar às peculiaridades das cidades do país, como variações na infraestrutura viária e dinâmicas populacionais específicas, é uma consideração crucial que deve levar em conta a realidade de cada área urbana, considerando os pontos positivos e negativos de cada programa e considerando as suas ferramentas. Além disso, a possibilidade de calibração dos modelos é uma dimensão importante a ser explorada, garantindo que as simulações estejam alinhadas com as condições reais.

É fundamental examinar a adequação técnica das análises estatísticas empregadas na estimativa dos outputs, avaliando a robustez e precisão dos resultados gerados. Ao discutir esses pontos, oferecemos uma compreensão mais abrangente das capacidades e limitações



dessas ferramentas no contexto brasileiro, contribuindo para uma aplicação mais assertiva em planejamento de transporte no país. A abordagem realizada nesta pesquisa enriquece a análise das ferramentas, fornecendo insights valiosos para pesquisadores, profissionais e formuladores de políticas envolvidos em iniciativas de planejamento urbano e transporte no Brasil, tanto em esfera estadual quanto, principalmente, em esfera municipal, visto o objetivo da discussão abordada.

Este artigo, portanto, conclui que ferramentas de código-aberto para análise geográfica no planejamento de transporte podem apoiar objetivos ambientais, sociais e econômicas emergentes. Em outras palavras, juntamente com mudanças políticas e institucionais mais amplas para descarbonizar a economia, o software de código aberto pode, além de fornecer soluções econômicas para as necessidades de planejamento de transporte do século XXI, salvar vidas.



Referências Bibliográficas

- Beddoe, R., Costanza, R., Farley, J., Garza, E., Kent, J., Kubiszewski, I., Martinez, L., et al. (2009). Overcoming systemic roadblocks to sustainability: the evolutionary redesign of worldviews, institutions, and technologies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(8), 2483–2489. DOI: 10.1073/pnas.0812570106.
- Bivand, R. S. (2020). Progress in the R ecosystem for representing and handling spatial data. *Journal of Geographical Systems*. DOI: 10.1007/s10109-020-00336-0.
- Coelho, J., Valente, M. T., Milen, L., & Silva, L. L. (2020). Is this GitHub project maintained? Measuring the level of maintenance activity of open-source projects. *Information and Software Technology*, 122, 106274. DOI: 10.1016/j.infsof.2020.106274.
- Cooper, C. H. V. (2018). Predictive spatial network analysis for high-resolution transport modeling, applied to cyclist flows, mode choice, and targeting investment. *International Journal of Sustainable Transportation*. DOI: 10.1080/15568318.2018.1432730.
- Dhir, S., & Dhir, S. (2020). Adoption of open-source software versus proprietary software: an exploratory study. *Strategic Change*, 26(4), 363–371. DOI: 10.1002/jsc.2137.
- Grabowicz, P. A., Ramasco, J. J., Moro, E., Pujol, J. M., & Eguiluz, V. M. (2012). Social features of online networks: the strength of intermediary ties in online social media. *PLoS ONE*, 7(1), e29358.
- Hickman, R., Ashiru, O., & Banister, D. (2011). Transitions to low carbon transport futures: strategic conversations from London and Delhi. *Journal of Transport Geography*, 19(6), 1553–1562. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2011.03.013.
- Horni, A., Nagel, K., & Axhausen, K. W. (2016). *The multi-agent transport simulation MATSim*. Ubiquity Press.
- Lopez, P. A., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y.-P., Hilbrich, R., ... Wießner, E. (2018). Microscopic traffic simulation using SUMO. In *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 2575–2582). IEEE.
- Lovelace, R. (2021). Open source tools for geographic analysis in transport planning. *Journal of Geographical Systems*, 23, 547–578.
- Lovelace, R., & Ellison, R. (2018). Stplanr: a package for transport planning. *The R Journal*, 10(2), 7–23. DOI: 10.32614/RJ-2018-053.
- Lovelace, R., Birkin, M., Cross, P., & Clarke, M. (2016). From big noise to big data: toward the verification of large data sets for understanding regional retail flows. *Geographical Analysis*, 48(1), 59–81. DOI: 10.1111/gean.12081.
- Lovelace, R., Goodman, A., Aldred, R., Berkof, N., & Woodcock, J. (2017). The propensity to cycle tool: an open-source online system for sustainable transport planning. *Journal of Transport and Land Use*. DOI: 10.5198/jtlu.2016.862.
- Hawick, G., & Kotusevski, G. (2022). *A Review of Traffic Simulation Software*. Auckland, New Zealand: Institute of Information & Mathematical Sciences, Massey University at Albany. Retrieved June 19, 2022.
- Tiboni, A. C. (2014). *Software livre como política de governo*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- A. Campo and R. D'Autilia, "Simulation tools to compare and optimize mobility plans," 2017 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS), Naples, Italy, 2017, pp. 194-199, doi: 10.1109/MTITS.2017.8005664.
- E. Almasri and M. Al-Jazzar, "TransCAD and GIS Technique for Estimating Traffic Demand and Its Application in Gaza City," *Open Journal of Civil Engineering*, Vol. 3 No. 4, 2013, pp. 242-



250. doi: 10.4236/ojce.2013.34029.