Indústria 5.0: Oportunidades e Desafios para Arquitetura e Construção

13º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção e 4º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção

ARACAJU-SE | 08 a 10 de Novembro

[1]BIM E MICROSSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO NO SUBSÍDIO À REDUÇÃO DE CARBONO NAS CIDADES

BIM AND TRAFFIC MICROSIMULATION FOR SUPPORTING CARBON REDUCTION IN CITIES

Pedro Luis Soethe Cursino
Autodesk | São Paulo, SP | pedro.soethe@autodesk.com

Fernanda Almeida Machado
Autodesk | São Paulo, SP | fernanda.machado@autodesk.com

RESUMO

As cidades são responsáveis por 70% das emissões globais de Gases de Efeito Estufa (GEE), sendo mais de um terço geradas pelo setor de transportes. Diante do crescimento populacional ascendente, que amplia os impactos ambientais do desenvolvimento econômico, o emprego de políticas de redução de emissões com ênfase no transporte urbano são críticas para mitigar as mudanças climáticas. A Modelagem da Informação da Construção (BIM) para sistemas de infraestrutura de transportes pode trazer benefícios à expansão gerenciada de áreas urbanas. Logo, o objetivo deste artigo é analisar o uso de modelos BIM integrados às microssimulações de tráfego para subsidiar políticas de redução de carbono nas cidades. Adotou-se a simulação computacional de cenários de intervenção em duas cidades brasileiras, Recife e São Paulo, que possuem metas carbono zero com ênfase na mobilidade urbana. Observou-se que as diretrizes dos planos estratégicos de ação climática dos municípios podem ser incorporadas em modelos de informação das cidades e as tomadas de decisão orientadas por resultados de avaliações comparativas de cenários de intervenção. Além dos aspectos qualitativos e quantitativos de projeto, o governo pode monitorar indicadores como tempo médio de viagem e emissão de carbono.

Palavras-chave: BIM; Microssimulação, Carbono, Planejamento Viário.

ABSTRACT

Cities are responsible for 70% of global Greenhouse Gas (GHG) emissions, with more than a third generated by the transport sector. Faced with rising population growth, which amplifies the environmental impacts of economic development, emission reduction policies emphasizing urban transport are critical to mitigate climate change. Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure systems can benefit the managed expansion of urban areas. Therefore, this paper aims to analyze the use of BIM models integrated with traffic microsimulations to support city carbon reduction policies. The authors adopted the computer simulation method of intervention scenarios in two Brazilian cities, Recife, and São Paulo, which have zero carbon targets with a focus on urban mobility. The results highlight that the government can integrate guidelines of the cities' strategic climate action plans into city information models and decision-making guided by comparative evaluations of intervention scenarios. Also, decision-makers can monitor indicators such as average travel time and carbon emissions beyond assessing a project's qualitative and quantitative aspects.

Keywords: BIM; Microsimulation, Carbon, Road Planning.

[1]CURSINO, P; MACHADO, F. BIM e microssimulação de tráfego no subsídio à redução de carbono nas cidades. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2023, Aracaju. **Anais [...].** PorLEto Alegre: ANTAC, 2023.

1 INTRODUÇÃO

As cidades são responsáveis por 70% das emissões globais de Gases de Efeito Estufa (GEE), sendo mais de um terço destas geradas pelo setor de transportes (OECD, 2020). De acordo com a Statista (2022), os veículos de passageiros tem sido uma das principais fontes de emissões de GEE, com crescimento significativo nas últimas duas décadas: (i) em 2019, período pré-pandemia, alcançaram o pico global de emissões de 3.2 bilhões de toneladas de CO2; (ii) em 2021, corresponderam a 39% das emissões globais do setor.

Sob outra perspectiva, as Nações Unidas (ONU, 2022) anunciaram que a população mundial atingiu 8 bilhões de pessoas, com previsão de crescimento a 9 bilhões no ano de 2037. Por meio dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a ONU (2023) visa conter os impactos ambientais do desenvolvimento econômico, ampliados pelo crescimento populacional. Entre as metas estabelecidas estão a neutralidade e/ou zero emissões líquidas de carbono (ODS 11), o aumento à urbanização inclusiva e sustentável, e o acesso a sistemas de transporte seguros, sustentáveis e acessíveis, com ênfase na expansão dos transportes públicos (ODS 13).

Segundo a Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômicos (OECD, 2020), as políticas voltadas para a redução de emissões de GEE inerentes ao transporte urbano são críticas para mitigar as mudanças climáticas. A título de exemplo, o movimento de pessoas dentro das cidades (como a viagem que um citadino realiza do trabalho à residência) está atrelado a um custo per capita de emissão de CO2/km, sendo este índice variável a depender do modal (LIU et al., 2015). Assim, em consonância com os ODS, a OECD classifica como necessária a combinação de políticas que contemplem programas de adensamento populacional em áreas consolidadas, encargos viários baseados em distância ou área, subsídios aos transportes públicos e a expansão gerenciada de áreas urbanas. Dessa forma, pode-se incentivar mudanças modais, reduzir a intensidade de emissões por quilômetro percorrido, assim como o total de distâncias percorridas.

No que tange à expansão gerenciada de áreas urbanas e projetos de infraestrutura, Costin et al. (2018) destaca evidências dos benefícios da Modelagem da Informação da Construção (BIM) para governos e proprietários de sistemas de infraestrutura de transportes; já que o BIM pode contribuir com fatores como receita, gestão de riscos, controle de segurança, por meio da integração a um amplo arcabouço tecnológico: GPS e Sistemas de Informação Geográfica (GIS), escaneamento a laser e fotogrametria, realidade virtual e aumentada, computação em nuvem e serviços *mobile*, sensores, sistemas não tripulados e robótica. Observa-se a diversidade de usos dos modelos para infraestrutura de transportes desde as etapas de planejamento, projeto e construção, até o *as-built* e a operação e manutenção de ativos construídos – abarcando aplicações em renovação e reabilitação, Monitoramento da Integridade Estrutural (SHM) e modelagem preditiva.

Ademais, os modelos BIM podem integrar-se a simulações e análises de tráfego, caracterizadas por seu alto nível de complexidade e variáveis que compreendem perfis, alinhamentos, geometria, características da via e de veículos, volumes de tráfego, parâmetros relacionados ao comportamento dos motoristas, regras de circulação, interseções, faixas de pedestres, elementos de controle de tráfego, entre outros (CASTAÑEDA et al. 2021). Destaca-se que as simulações e análises de tráfego permitem a avaliação de alternativas em projeto, a melhoria da sua apresentação, maior eficiência no monitoramento de desempenho, e o aprimoramento da análise de custos e tomadas de decisão (ALEXIADIS et al., 2004). Logo, o objetivo deste artigo é analisar o uso de modelos BIM integrados às microssimulações de tráfego para subsidiar políticas de redução de carbono nas cidades. Para tanto, definiu-se como procedimentos metodológicos a simulação computacional (HEERMANN, 1990), adaptando-se o *framework* para simulação e análise de tráfego em interseções viárias de Castañeda et al. (2021), conforme explanado na próxima seção.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A simulação computacional propiciou a avaliação comparativa de múltiplos cenários de intervenções viárias, associadas a políticas de redução de carbono. Definiu-se, para contextualização, a cidade de São Paulo, caracterizada por ser o município mais populoso do Brasil, reconhecido por problemas de trânsito, e a cidade do Recife, caracterizada pelos longos tempos médios de viagem e espera no ano de 2022 (MOOVIT, 2023). Ambas as cidades possuem planos estratégicos de ação do clima que incluem o eixo “mobilidade” para endereçar metas de carbono zero (PLANMOB, 2022; ICLEI; URBAN-LEDS II, 2020).

O *framework* supracitado proposto por Castañeda et al. (2021) abarca cinco fases principais, considerando as especificidades de adoção do BIM para projetos, simulações e análises de infraestrutura viária. Em ambas as cidades, seguiu-se:

a. Modelos BIM e Coleta de Informações de Tráfego - fase na qual os modelos representam as condições existentes (*as-is*) e os limites de contorno da intervenção urbana; e os dados de entrada para simulação de tráfego inclui volume, composição, projeções, níveis de serviço, entre outros. Em São Paulo, a definição da área de simulação e análise foi auxiliada por observações de comportamento do sistema por meio do Waze, aplicativo de navegação GPS. Por sua vez, em Recife, a definição da área de simulação e análise foi oriunda de um novo empreendimento de uso misto, classificado como polo gerador de tráfego, no bairro da Boa Vista;

b. Configuração dos Modelos BIM – fase na qual há a integração e configuração dos parâmetros de tráfego nos modelos *as-is*, levando em consideração os objetos inerentes ao sistema viário e contorno; bem como os dados de entrada coletados na primeira fase. Neste âmbito, adotou-se a solução Autodesk Infraworks, que possibilita a modelagem de informação das cidades nas condições existentes, bem como eventuais opções de projetos de intervenções urbanas; além de disponibilizar ferramentas de microssimulação de tráfego e mobilidade para desenvolvimento dos modelos analíticos;

c. Calibração, Simulação e Análise dos Modelos BIM – fase que compreende a definição de condições e requisitos para a análise de tráfego. Com o estabelecimento das áreas de estudo nos modelos BIM de São Paulo e Recife, foram configurados parâmetros como termos (janelas temporais), comportamentos (atribuídos a pessoas ou tipos de veículos), restrições (por exemplo, controle de velocidade) e veículos (tipos que especificam tamanho, movimento e exibição nos modelos);

d. Análise e Documentação de Quantidades - fase que inclui análise comparativa de custos associadas com as alternativas de projeto. Essa fase, no presente trabalho, foi adaptada para contemplar a análise comparativa de emissão de CO2 no decorrer do tempo por cenário simulado, e, finalmente;

e. Comparação de Alternativas e Recomendações - fase final, que consiste na escolha das melhores alternativas de intervenção orientada pelas informações obtidas anteriormente, consolidando as tomadas de decisão com base nas políticas públicas.

Finalmente, é relevante reiterar a adoção e o papel da microssimulação como ferramenta de análise dinâmica. A microssimulação permite a incorporação de variáveis e dados que extrapolam o ambiente a ser simulado, como as interações intermodais ou características físicas de uma via, e, por conseguinte, viabilizam maior nível de detalhe em aplicações de pequena escala (ALEXIAIS et al. 2004).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presente seção apresenta os resultados das simulações e análises comparativas de cenários de intervenção nas cidades de São Paulo e Recife, que subsidiem às metas de carbono zero. Para tanto, considerou-se a compreensão da situação existente na área de estudo e a análise de permanência da solução atual frente a alternativas de projeto de intervenção no sistema viário.

3.1 Cidade de São Paulo: intervenção a partir da criação de dispositivo de retorno

Por meio da coleta de informações de tráfego, em horário de pico/dia útil (12h, Março/2023), em São Paulo, foi definida como área de simulação e análise a região de Pari, localizada no centro da cidade. Os pontos de congestionamento de veículos foram utilizados como base para a criação dos cenários de avaliação. No Autodesk Infraworks, o modelo BIM *as-is* da cidade (Figura 1) foi gerado com as condições de contorno que representam: (i) o sistema viário, construções e corpos d'água (oriundos do *OpenStreet Map*); (ii) imagens de satélite modeladas sobre o terreno (a partir do *Microsoft Bing Maps*); e (iii) elevações, a partir de dados globais de terreno. Essa representação subsidiou a elaboração do modelo analítico e a compreensão das condições existentes de tráfego - estimando-se os dados de origem e destino para configuração do modelo e da simulação.

Figura 1: Captura de tela da região de Pari em coleta de informações no aplicativo *Waze* (esquerda) e modelo BIM *as-is* da mesma área de estudo desenvolvido no Autodesk Infraworks (direita)



Fonte: Os autores

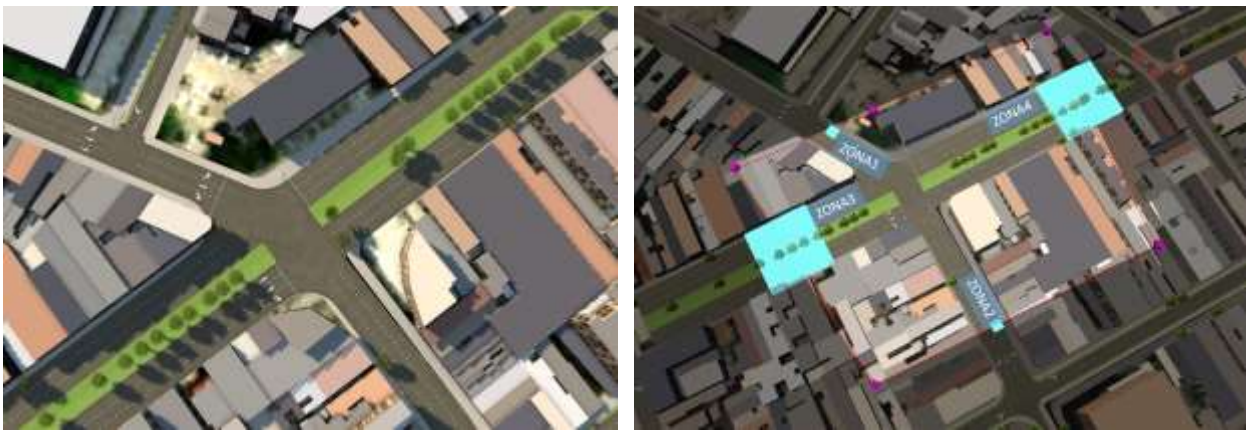
É relevante destacar que é necessário tratamento no modelo BIM *as-is* a partir dos dados públicos de satélite importados, para corrigir eventuais inferências em relação a direção das faixas, larguras das ruas, entre outros aspectos que podem influenciar a simulação. Para tanto, foi realizada correção a partir do Mapa Digital da Cidade de São Paulo (GEOSAMPA, 2023), base pública de dados GIS do município que proporciona precisão na atualização e configuração de logradouros, calçadas, semáforos, espécies arbóreas, entre outros. Então, restringiu-se a área de estudo ao entroncamento entre a Avenida Carlos de Campos, que apresenta movimentação intensa de veículos, e a Rua Rio Bonito (Figura 2); sendo definido o quadro matricial de origem-destino representativo do contexto real, considerando dados inferidos de contagem do total de veículos de passageiros (Quadro 1). Na configuração dos parâmetros de tráfego, também se estipulou a porcentagem dos tipos de veículos, sendo adotado: veículos de pequeno (40%), médio (10%) e grande (30%) portes; SUV (10%), vans (5%) e caminhões (5%). Pode-se calibrar o modelo e ampliar a acurácia da simulação por meio de dados levantados por companhias de engenharia de tráfego.

Quadro 1: Matriz de Origem-Destino

ZONAS	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	**Total de Veículos**
ZONA 1	325	202	402	**929**
ZONA 3	341	-	456	**797**
ZONA 4	252	115	-	**367**
Total de Veículos	**918**	**317**	**858**	**2093**

Fonte: Os autores

Figura 2: área de estudo da interseção no modelo BIM *as-is* (esquerda) e zonas de origem-destino configuradas para análise (direita)



Fonte: Os autores

Com o perfil de origem-destino estabelecido, foi realizada a simulação considerando o contexto real – ou seja – a interseção urbana semaforizada (Figura 3). Os resultados da simulação (Quadro 2), para o intervalo temporal de 1h no período da manhã (8:00 às 9:00h), apontaram a geração de 1180 viagens, sendo computados os somatórios totais de tempo (19:25:50) e emissão de carbono (62223.98m³ de CO2) das

viagens. Além destes dados, calculou-se a média de tempo (00:02:12) e emissão de carbono (52.73m³ de CO2) por viagem.

Quadro 2: Síntese suprimida dos resultados da Simulação de Tráfego e Emissão de Carbono (Semáforo)

Viagem	Nome	Tipo	Origem	Destino	Partida	Chegada	Tempo	Distância	Paradas	CO2
1	DV563	103: Veículo Grande	ZONA 1	ZONA 4	8:00:01	8:03:14	00:03:12	0,14	1	125,63
2	DV1378	103: Veículo Grande	ZONA 3	ZONA 4	8:00:01	8:00:15	00:00:13	0,15	0	25,81
3	DV2083	102: Veículo Médio	ZONA 4	ZONA 3	8:00:03	8:00:16	00:00:13	0,15	0	24,68
4	DV1447	101: Veículo Pequeno	ZONA 3	ZONA 4	8:00:08	8:00:21	00:00:13	0,15	0	24,68
5	DV771	101: Veículo Pequeno	ZONA 1	ZONA 4	8:00:24	8:00:15	00:02:50	0,14	1	113,34
1175	DV912	101: Veículo Pequeno	ZONA 1	ZONA 4	8:59:06	8:59:22	00:00:15	0,14	0	23,80
1176	DV782	101: Veículo Pequeno	ZONA 1	ZONA 4	8:59:20	8:59:32	00:00:12	0,14	0	22,81
1177	DV768	104: SUV	ZONA 1	ZONA 4	8:59:23	8:59:38	00:00:14	0,14	0	21,66
1178	DV903	103: Veículo Grande	ZONA 1	ZONA 4	8:59:36	8:59:50	00:00:13	0,14	0	23,19
1179	DV691	105: Van	ZONA 1	ZONA 4	8:59:40	8:59:56	00:00:15	0,14	0	22,81
1180	DV609	101: Veículo Pequeno	ZONA 1	ZONA 4	8:59:47	8:59:59	00:00:11	0,14	0	21,82
Total							**19:25:50**			**62223.98**
Média por Viagem							**00:02:12**			**52.73**

Fonte: Os autores

Com os mesmos dados de origem-destino, foi modelada uma alternativa para a interseção, sendo adicionada como opção de projeto um sistema de retorno do tipo rotatória. Os resultados da simulação (Quadro 3), para o mesmo intervalo temporal e período do cenário anterior – correspondente ao contexto real – apontaram: a geração de 2073 viagens, sendo computados os somatórios totais de tempo (13:14:55) e emissão de carbono (78792.30m³ de CO2) das viagens. Conforme simulação anterior, também se calculou a média de tempo (00:00:23) e emissão de carbono (38.01m³ de CO2) por viagem.

Figura 3: cenário de interseção urbana semaforizada (esquerda) e cenário de interseção urbana do tipo rotatória (direita)



Fonte: Os autores

Comparando os cenários e alternativas de interseção urbana, a microssimulação de tráfego destaca que a opção de projeto com rotatória apresenta maior fluidez de tráfego – a partir da geração de mais viagens no mesmo período de simulação (2073 contra 1180 inerente à condição existente) – com menor média de tempo e emissão de carbono por viagem. A condição existente semaforizada aponta menor emissão total de CO2, entretanto, em um cenário no qual há menos viagens devido a paradas e congestionamentos.

Quadro 3: Síntese suprimida dos resultados da Simulação de Tráfego e Emissão de Carbono (Rotatória)

Viagem	Nome	Tipo	Origem	Destino	Partida	Chegada	Tempo	Distância	Paradas	CO2
1	DV563	105: Van	ZONA 4	ZONA 5	8:00:01	8:00:22	00:00:20	0,21	0	125,63
2	DV1378	104: SUV	ZONA 5	ZONA 1	8:00:01	8:00:24	00:00:22	0,24	0	25,81
3	DV2083	101: Veículo Padrão	ZONA 2	ZONA 1	8:00:03	8:00:32	00:00:29	0,20	1	24,68
4	DV64	101: Veículo Padrão	ZONA 4	ZONA 5	8:00:05	8:00:25	00:00:19	0,21	0	24,68
2067	DV768	103: Veículo Grande	ZONA 5	ZONA 4	8:59:23	8:59:45	00:00:22	0,22	0	113,34
2068	DV1381	101: Veículo Padrão	ZONA 5	ZONA 1	8:59:25	8:59:51	00:00:25	0,23	0	23,80
2069	DV1151	104: SUV	ZONA 5	ZONA 4	8:59:26	8:59:46	00:00:19	0,22	0	22,81
2070	DV1362	105: Van	ZONA 5	ZONA 1	8:59:28	8:59:55	00:00:26	0,23	0	21,66
2071	DV239	102: Veículo Médio	ZONA 4	ZONA 5	8:59:31	8:59:53	00:00:21	0,21	0	23,19
2072	DV903	102: Veículo Médio	ZONA 5	ZONA 4	8:59:36	8:59:56	00:00:19	0,22	0	22,81
2073	DV691	103: Veículo Grande	ZONA 4	ZONA 1	8:59:40	8:59:56	00:00:15	0,17	0	21,82
Total							**13:14:55**			**78792.30**
Média por Viagem							**00:00:23**			**38.01**

Fonte: Os autores

Além dos resultados da microssimulação evidenciarem, de forma comparativa e acessível, a alternativa mais adequada de intervenção e/ou expansão urbana (Quadro 4), considerando políticas de redução de carbono, a integração do modelo analítico ao BIM permite a compreensão e validação qualitativa e quantitativa das informações multidisciplinares de projeto e os elementos que os compõe. Como exemplo, a área verde e suas dimensões em ambos os cenários podem ser consideradas nos cálculos de mitigação de impactos ambientais ou variáveis do planejamento urbano, e complementar os dados de simulação e análise de tráfego apresentados neste artigo. Ademais usos inerentes à simulação 4D permitem o melhor planejamento de recursos e economia de materiais de construção, conforme apontado por Castañeda et al. (2021), conduzindo a abordagens voltadas para a economia circular e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

Quadro 4: Resumo entre Cenários da Interseção Urbana (Semáforo e Rotatória)

Cenários	Total de tempo na soma das viagens (h)	Total de emissões de CO2 (m^3)	Total de viagens	Média de tempo por viagem	Média de emissão de CO2 por viagem
Condição Existente com Semáforo	19:25:50	62223.98	1180	00:02:12	52.73
Opção de Projeto com Rotatória	13:14:55	78792.30	2073	00:00:23	38.01

Fonte: Os autores

3.2 Cidade do Recife: intervenção a partir da criação de alça de acesso

Empregando o mesmo *framework* na cidade do Recife, foi definida como área de simulação e análise um trecho da cidade que receberá a implantação de um empreendimento de uso misto: terreno localizado na Avenida Dom Bosco junto ao entroncamento da Avenida Agamenon Magalhães, um dos pontos mais movimentados do município. Neste cenário, o empreendimento é caracterizado como novo polo gerador de tráfego de veículos, sendo necessária a realização de um Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV). A condição existente foi elaborada a partir de dados públicos de satélite e refinadas por meio de dados municipais da Prefeitura do Recife cadastrados no ArcGIS Pro. Ademais, o modelo BIM do empreendimento foi georreferenciado para enriquecer os cenários de análise.

Assim como no caso de São Paulo, foi empregada simulação computacional considerando-se dados inferidos de origem-destino, para avaliar: (i) somente as vias gerando tráfego; (ii) o novo empreendimento gerando tráfego; e (iii) o novo empreendimento com uma alça de acesso incorporada – com o intuito dos veículos provenientes da Avenida Dom Bosco acessarem a Avenida Agamenon Magalhães à direita, sem a necessidade de parada no semáforo da interseção urbana. O modelo de informação da cidade, portanto, contemplou além da condição existente, uma opção de projeto prevendo o novo empreendimento, e outra sugerindo uma alça de acesso como contrapartida para aprovação do empreendimento (Figura 4).

Figura 4: área de estudo existente (esquerda), com novo empreendimento (centro) e alça de acesso (direita)



Fonte: Os autores

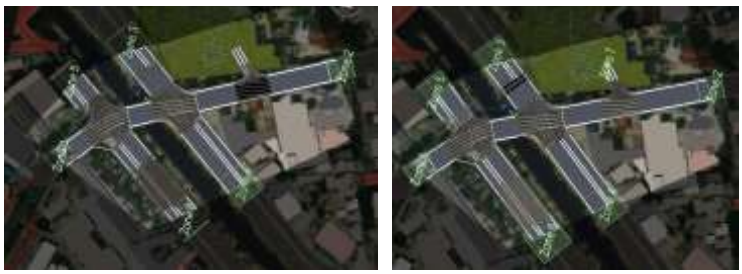
O quadro matricial de origem-destino (Quadro 5) abarcou seis zonas correspondentes à situação existente e uma nova zona (Zona 7) representativa do novo empreendimento, ilustradas também na Figura 5.

Quadro 5: Matriz de Origem-Destino com Polo Gerador de Tráfego

ZONAS	ZONA 1	ZONA 3	ZONA 6	ZONA 7	**Total de Veículos**
ZONA 2	400	300	150	50	**900**
ZONA 4	150	400	150	-	**700**
ZONA 5	150	-	400	-	**550**
ZONA 7	50	50	50	-	**150**
Total de Veículos	**750**	**750**	**750**	**50**	**2300**

Fonte: Os autores

Figura 5: zonas no cenário existente (esquerda) e zonas no cenário do novo empreendimento (direita)



Fonte: Os autores

Comparando os cenários e alternativas a partir da implantação do novo empreendimento, a microssimulação de tráfego destaca que a condição existente, sem o empreendimento, proporciona menor média de emissão de carbono por viagem. Evidencia-se o maior estresse que será causado no sistema viário com a implantação do novo empreendimento na região; contexto que reduzirá o número total de viagens e aumentará o tempo médio por viagem. Por outro lado, a inserção, no terreno do empreendimento, de uma alça simples de acesso à Avenida Agamenon Magalhães a partir da Avenida Dom Bosco contribui qualitativamente com o trânsito, aumentando o número de viagens e reduzindo o tempo médio por viagem, e com o meio ambiente, notando-se redução de carbono por viagem (Quadro 6). Esse último cenário permite o usufruto da contribuição do arcabouço tecnológico BIM e GIS como mais um elemento para embasar solicitações de contrapartidas em EIV, favorecendo a cidade no âmbito da mobilidade. Destaca-se que as tomadas de decisão em EIV são oriundas de análises multidisciplinares que podem aumentar a eficiência do planejamento urbano e sua utilidade para a sociedade.

Quadro 6: Resumo entre Cenários da Interseção Urbana (Existente, Polo Gerador de Tráfego e Alça de Acesso)

Cenários	**Total de tempo na soma das viagens (h)**	**Total de emissões de CO2 (m^3)**	**Total de viagens**	**Média de tempo por viagem**	**Média de emissão de CO2 por viagem**
Condição Existente	10:16:07	31574.88	434	00:01:25	72.75
Opção com Polo Gerador	09:53:26	29865.92	409	00:01:27	73.02
Opção com Polo Gerador e Alça	10:57:20	34508.03	519	00:01:16	66.49

Fonte: Os autores

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste artigo foi analisar o uso de modelos BIM integrados às microssimulações de tráfego para subsidiar políticas de redução de carbono nas cidades. Observou-se, por meio da simulação computacional, que as diretrizes dos planos estratégicos de ação climática dos municípios podem ser incorporadas em modelos de informação das cidades. Suas metas e indicadores no eixo de mobilidade podem ser validados por meio da criação e interface entre cenários de condições existentes e opções de projeto em BIM com as possibilidades iterativas das microssimulações de tráfego. A acurácia dos resultados da simulação computacional está associada à qualidade dos dados de entrada e configurações de modelos BIM parametrizados para a finalidade dos estudos de tráfego, contexto que reitera a relevância de uso de dados municipais cadastrados em bases GIS e aqueles levantados por companhias de engenharia de tráfego. Ademais, os estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental apresentados nos cenários de Recife e São Paulo demonstraram o potencial de desenvolvimento de projetos de infraestrutura viária a partir da definição da melhor opção simulada. Por fim, a compreensão visual e a acessibilidade aos resultados para tomadas de decisão em contexto sobre os sistemas de infraestrutura de transporte contribuem para ratificar a relevância de adoção do BIM no âmbito de governo e concessionárias, tendo em vista não somente a redução de carbono nas cidades como a qualidade dos projetos e obras públicas.

REFERÊNCIAS

ALEXIADIS, Vassili et al. Traffic Analysis Toolbox Volume I: Traffic Analysis Tools Primer. United States. Federal Highway Administration. Office of Operations, 2004.

CASTAÑEDA, Karen et al. BIM-based traffic analysis and simulation at road intersection design. **Automation in Construction**, v. 131, p. 103911, 2021.

COSTIN, Aaron et al. Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure–Literature review, applications, challenges, and recommendations. **Automation in Construction**, v. 94, p. 257-281, 2018.

HEERMANN, Dieter W. **Computer-simulation methods**. Springer Berlin Heidelberg, 1990.

GEOSAMPA. Mapa Digital da Cidade de São Paulo, 2023. Disponível em: <https://geosampa.prefeitura.sp.gov.br>

ICLEI; Urban-LEDS II: Acelerando a Ação Climática por meio da Promoção de Estratégias de Desenvolvimento de Baixo Carbono, 2020; Plano Local de Ação Climática do Recife. São Paulo, Brasil. Disponível em: <http://meioambiente.recife.pe.gov.br/sites/default/files/midia/arquivos/pagina-basica/placrecife_acaoclimat.pdf>. Acesso em: 01. fev. 2023.

LIU, Yuan-Yuan et al. The spatial distribution of commuting CO2 emissions and the influential factors: A case study in Xi'an, China. **Advances in Climate Change Research**, v. 6, n. 1, p. 46-55, 2015.

STATISTA. Distribution of carbon dioxide emissions produced by the transportation sector worldwide in 2021, by subsector, 2022. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/1185535/transport-carbon-dioxide-emissions-breakdown/>. Acesso em: 01. abr. 2023.

OECD. Decarbonising Urban Mobility with Land Use and Transport Policies: The Case of Auckland. OECD Publishing, Paris, 2020. Disponível em: < https://www.oecd.org/publications/decarbonising-urban-mobility-with-land-use-and-transport-policies-the-case-of-auckland-new-zealand-095848a3-en.htm>. Acesso em: 01. mar. 2023.doi: https://doi.org/10.1787/095848a3-en.

ONU. População mundial atinge 8 bilhões de pessoas, 2022. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/11/1805342>. Acesso em: 10. fev. 2023

ONU. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, 2023. Disponível em: < https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 10. fev. 2023

MOOVIT. Relatório Global Moovit sobre Transporte Público 2022, 2023. Disponível em: < https://moovitapp.com/insights/pt-br/Moovit_Insights_%C3%8Dndice_sobre_o_Transporte_P%C3%BAblico-countries?__hstc=171844735.2a5252f3e33328bf41446e6e31360c61.1682211965729.1682211965729.1682211965729.1&__hssc=171844735.1.1682211965729&__hsfp=1181349677>. Acesso em: 10. fev. 2023