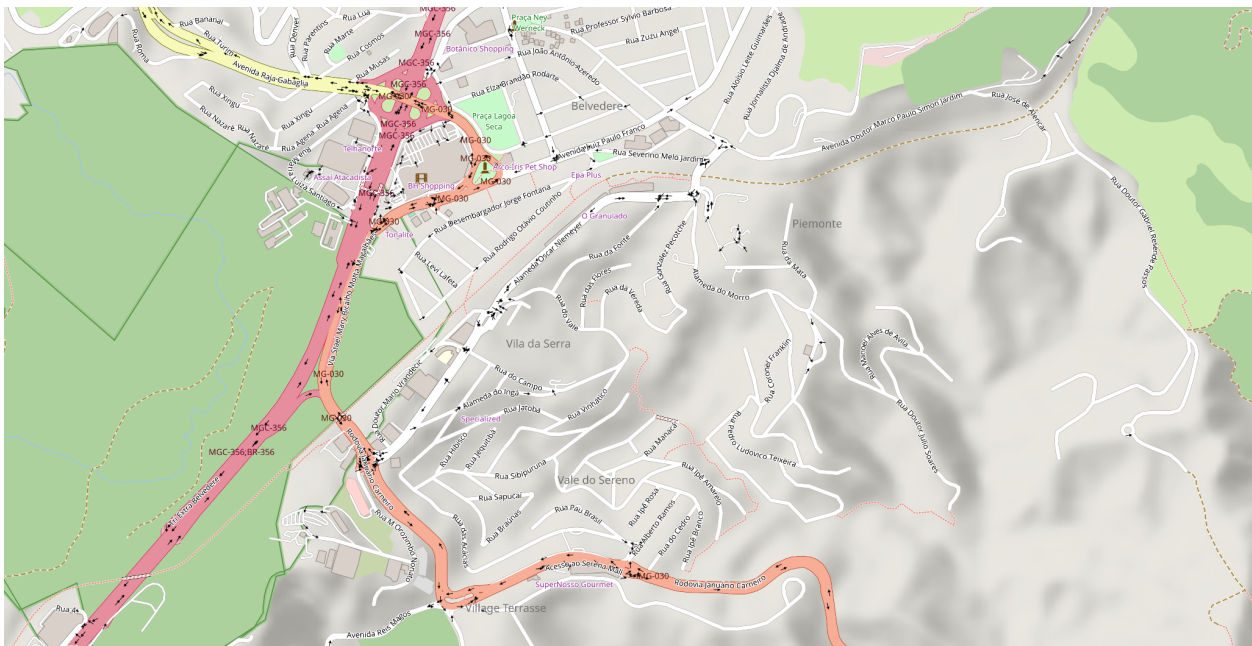




Este documento apresenta o estudo de caso sobre a infraestrutura viária no vetor Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), especificamente no eixo de conexão entre os municípios de **Belo Horizonte e Nova Lima**. Por meio de simulações computacionais microscópicas de tráfego, o relatório analisa a eficácia das obras executadas e o impacto projetado das intervenções planejadas para os próximos anos.

Os resultados indicam que soluções baseadas exclusivamente no aumento da capacidade viária para transporte individual (como novas faixas e viadutos) oferecem **retornos marginais** em termos de tempo e velocidade de deslocamento. O comportamento observado valida a incidência do **Paradoxo de Braess** na região, agravado por um acentuado crescimento demográfico verticalizado. O relatório conclui pela necessidade de redirecionamento dos investimentos para soluções de transporte multimodal e preservação ambiental.

2. INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO

O fluxo de tráfego entre Belo Horizonte e Nova Lima — com destaque para a região do Belvedere — apresenta gargalos de mobilidade crônicos. Historicamente, as ações governamentais concentraram-se na execução de obras físicas para otimização do tráfego. No entanto, a percepção pública e os registros de congestionamentos indicam que os ganhos de fluidez são temporários.

Diante da escassez de dados históricos de medição contínua (períodos pré e pós-obras), este relatório utiliza a metodologia de simulação virtual para avaliar o cenário atual e mensurar a eficiência das futuras obras projetadas.

3. METODOLOGIA E FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO

A análise quantitativa foi realizada por meio do software **Eclipse SUMO (Simulation of Urban Mobility)**, uma ferramenta de código aberto especializada em engenharia de tráfego.

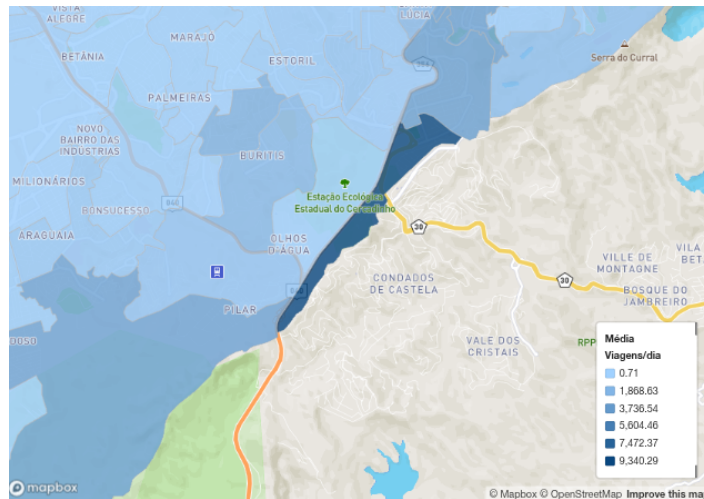
- **Abordagem Microscópica:** Cada veículo é modelado individualmente como um agente autônomo com rota, velocidade e comportamento de aceleração próprios.
- **Dados de Entrada (Matriz O-D):** A modelagem foi parametrizada com dados de mobilidade real baseados em rastreamento de telefonia móvel, obtidos junto à Agência RMBH. Foram consolidados dados de dois períodos: novembro/2019 e maio/2021.
- **Demanda Diária Identificada:** O diagnóstico apontou um volume médio de **142.000 veículos/dia** cruzando o eixo, sendo 72.000 no sentido Belo Horizonte–Nova Lima e 70.000 no sentido inverso.



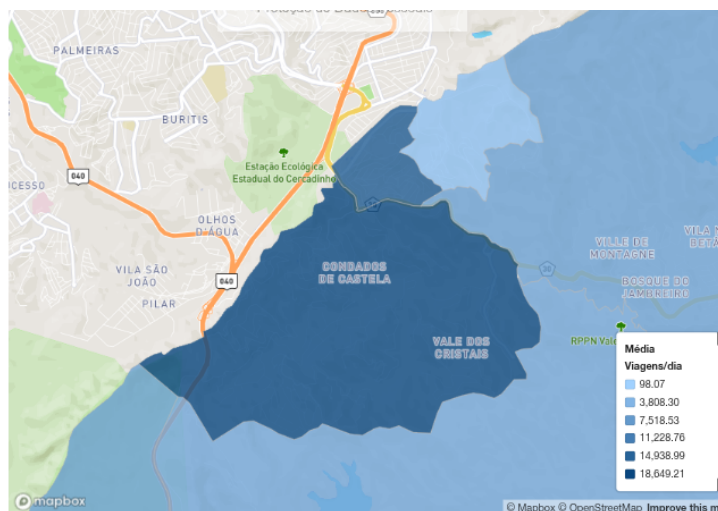
2019
541,797
Total de viagens
1,931,518
População +18
76,537.60
Média de viagens/dia

2021
471,044
Total de viagens
1,946,034
População +18
72,353.29
Média de viagens/dia

Média diária de deslocamentos de Belo Horizonte para Nova Lima



Deslocamentos de Belo Horizonte para Nova Lima



Deslocamentos de Nova Lima para Belo Horizonte

Para nossa análise, vamos gerar o uso das vias de modo randômico e de forma crescente até que o sistema viário seja saturado. Esta situação pode ser demonstrada pelos **Diagramas de Fluxo** de Tráfego.

O gráfico **Velocidade x Densidade** mostra como a velocidade se comporta conforme a via é ocupada: com densidade quase zero, os carros andam na Velocidade de Fluxo Livre. Conforme a densidade aumenta, a velocidade cai (inicialmente de forma lenta, depois abruptamente após passar da densidade crítica) até chegar a zero no ponto de engarrafamento.

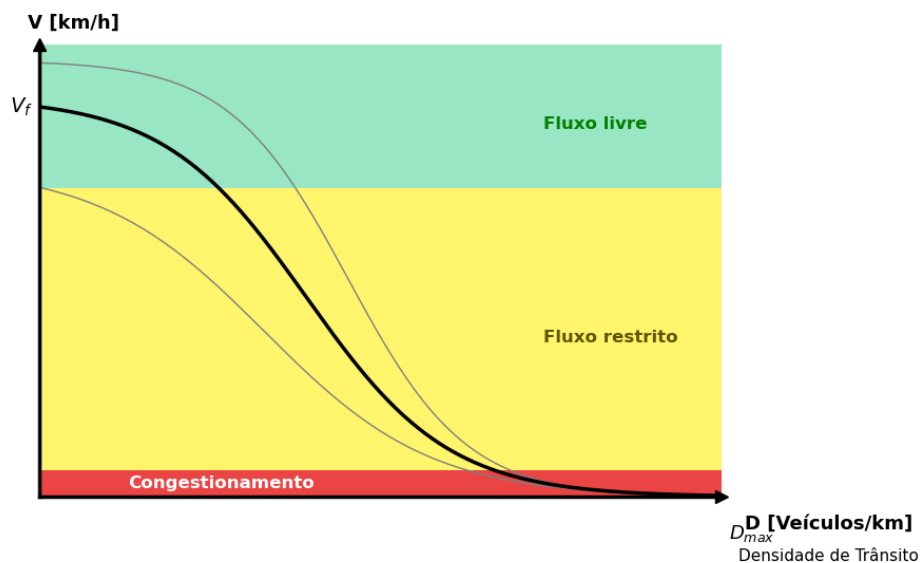


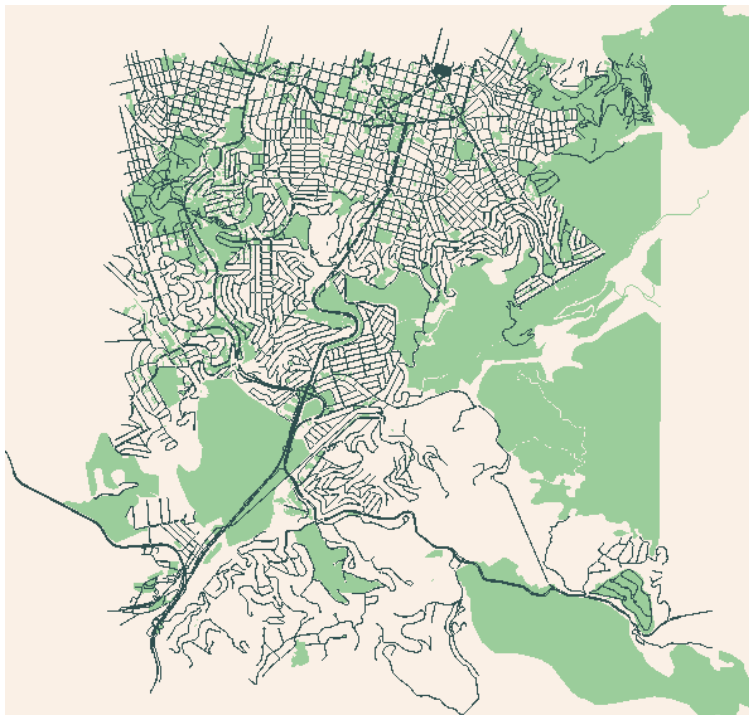
Diagrama fundamental de fluxo de tráfego.

3.1. Cenários Avaliados

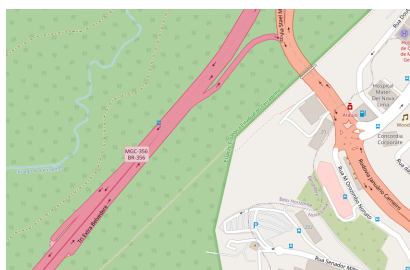
Foram testados 6 (seis) cenários para avaliar o impacto evolutivo da malha viária:

- **Cenário 2010 (Base):** Configuração original antes das intervenções recentes.
- **Cenário 2012:** Rede modificada com a passagem inferior sob a MG-356.
- **Cenário 2026:** Rede atualizada com a conexão direta entre a MG-030 e a MG-356.
- **Cenário 2027 (Projetado):** Inclusão do Viaduto da Ferradura.
- **Cenário 2028 (Projetado):** Inclusão da Via de Integração Dr. Flávio Pentagna Guimarães.
- **Cenário 2029 (Projetado):** Inclusão da Avenida sobre a Linha Férrea.

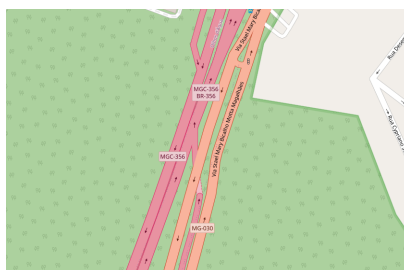
3.2 Dados da Simulação



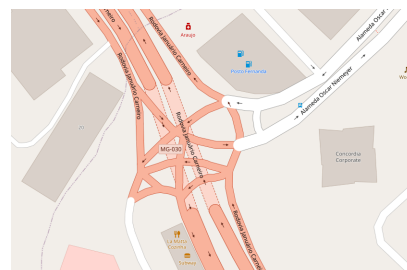
Área de estudo delimitada no simulador



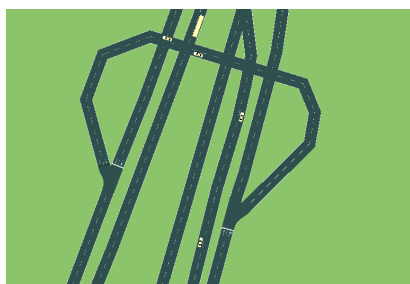
Trincheira na MG-356.



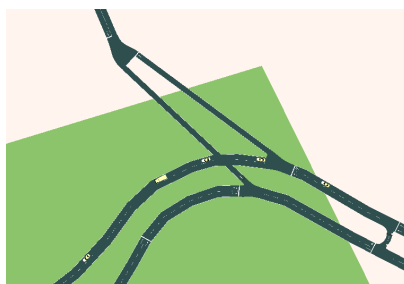
conexão entre MG-356 e MG-030



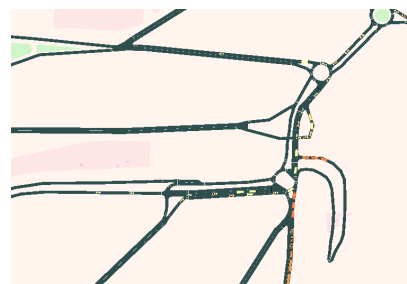
Trincheira na MG-030.



Projeto do Viaduto da Ferradura.

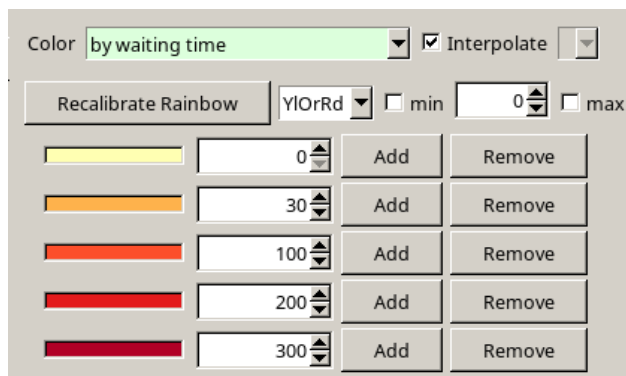


Projeto da Via de Integração.

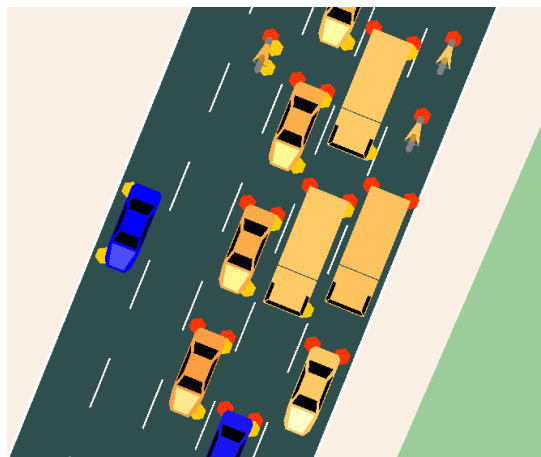


Traçado da Av. Parque da Linha Férrea

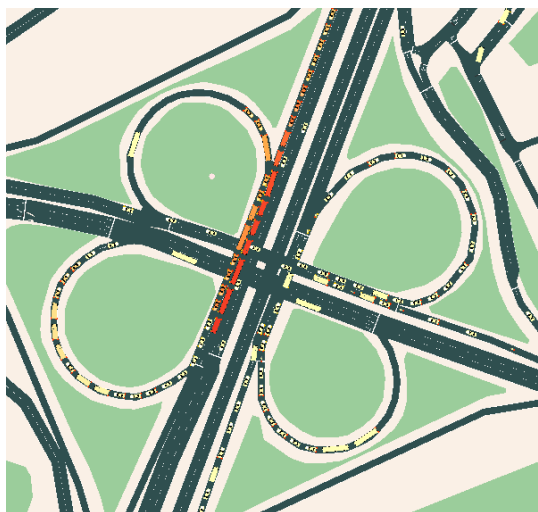
O SUMO permite simular como uma determinada demanda de tráfego, composta por veículos individuais, se desloca por uma dada rede viária. A simulação possibilita abordar um amplo conjunto de temas relacionados à gestão de tráfego. Trata-se de uma abordagem puramente microscópica: cada veículo é modelado explicitamente, possui sua própria rota e desloca-se individualmente pela rede. As simulações são determinísticas por padrão, mas existem diversas opções para introduzir aleatoriedade.



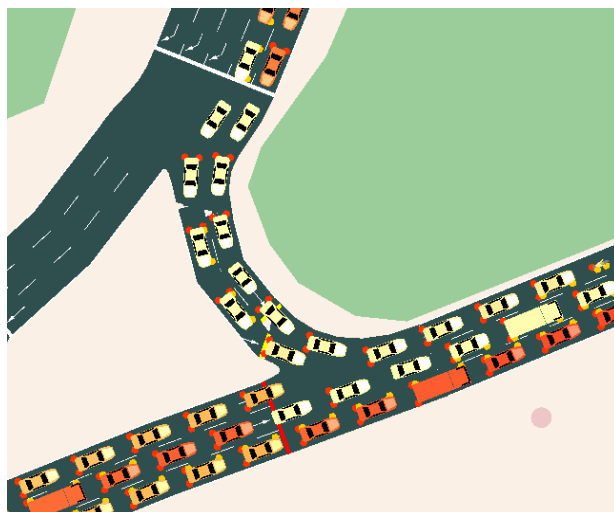
Coloração do veículo de acordo com a velocidade



Detalhe do comportamento microscópico dos veículos



Detalhe do Trevo do Belvedere.



Detalhe da Praça Marcelo Menicucci.

O simulador mostra estatísticas gerais para o funcionamento global da área analisada mas permite também a inclusão de Detectores de Fluxo em pontos específicos.

Para nossa análise colocamos estes detectores na MG-030, Av Nossa Senhora do Carmo (040) e na Av Jornalista de Djalma de Andrade, tanto no sentido de entrada no bairro (in) como na saída do bairro (out).

4. RESULTADOS OBTIDOS

O modelo foi submetido a testes de estresse com geração de tráfego crescente até a saturação do sistema. O comportamento seguiu o diagrama fundamental do fluxo de tráfego: velocidade em fluxo livre com baixa densidade, seguida por queda abrupta de velocidade ao atingir a densidade crítica, até o congelamento do fluxo no ponto de congestionamento.

Os dados consolidados da simulação macro da frota (140.000 veículos) constam na tabela abaixo:

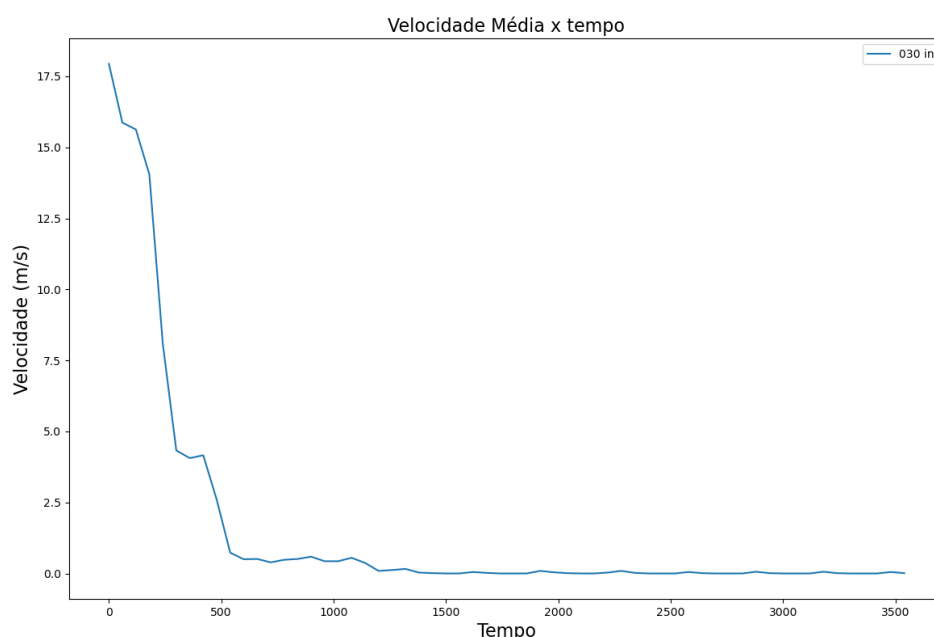
Ano	2010	2012	2026	2027	2028	2029
Performance						
Duração (s)	149,03	139,45	133,54	138,3	134,94	139,78
Veículos						
Inseridos	94,907	94,816	95,201	95,049	94,739	95,364
Carregados	139,380	139,449	139,506	139,536	139,779	140,355
Rodando	88,502	88,280	88,417	88,421	88,167	88,725
Esperando	44,425	44,594	44,257	44,451	45,004	44,952
Teleports	27,085	26,506	26,552	26,532	26,831	26,803
Engarrafamentos	27,085	26,506	26,552	26,532	26,831	26,803
Dados (média de)	6,405	6,536	6,784	6,628	6,572	6,639
Tamanho das rotas	2461.28	2437.24	2481.93	2454.1	2464.77	2547.55
Velocidade	8.39	8.29	8.34	8.14	8.37	8.14
Duração (s)	864.12	855.05	860.12	875.56	848.17	902.89
Tempo de espera	168.82	162.61	166.88	166.62	164.1	173.1
Tempo perdidos	715.78	707.51	711.58	727.93	700.43	747.78
Atraso de partida	11.73	10.06	13.28	12.38	9.55	11.94
População						
Nova Lima	80,983	85,440	124,143	127,409	130,760	134,199
Belvedere	8,828	9,041	10,683	10,812	10,941	11,072
Vila da Serra	4,150	4,735	11,912	12,750	13,587	14,516

Descrição dos dados de saída do simulador:

		Descrição
Veículos	#	Número de veículos que contribuem para esta estatística
Comprimento da rota	m	O comprimento médio da rota
Velocidade	m/s	A velocidade média da viagem
Duração	s	A duração média da viagem

Tempo de espera	S	O tempo médio gasto em pé (involuntariamente)
Tempo perdido	S	Tempo médio perdido devido à condução mais lenta do que o desejado (inclui tempo de espera)
Atraso de partida	S	O tempo médio que os veículos tiveram que esperar antes de iniciar suas viagens.

Com os dados obtidos pela simulação nos vários cenários e com valores medidos nos vários detectores colocados ao longo das vias, podem ser traçados gráficos que demonstram o comportamento do tráfego ao longo dos anos.

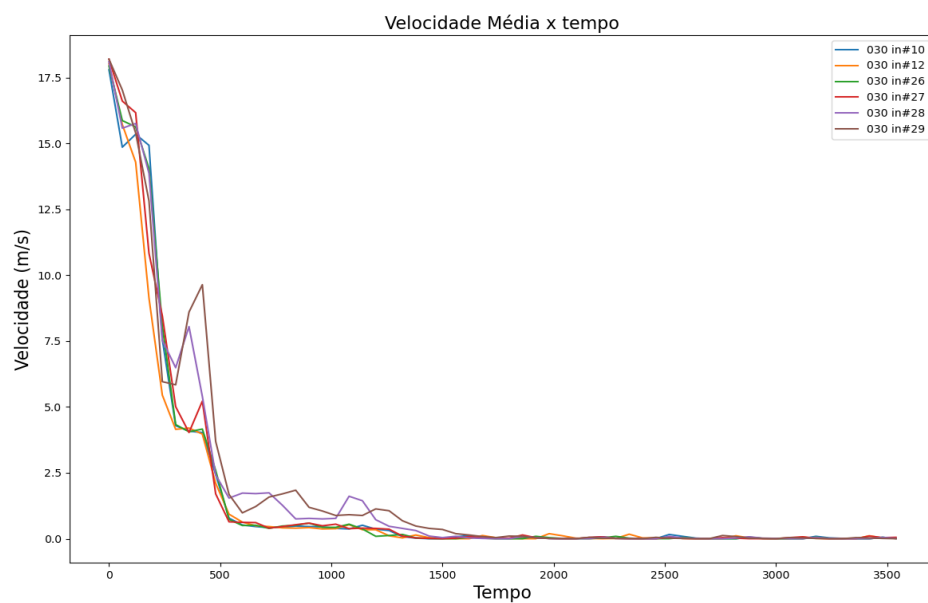


Variação da velocidade no detector da saída da MG-030 no ano de 2026 ao longo do tempo de simulação.

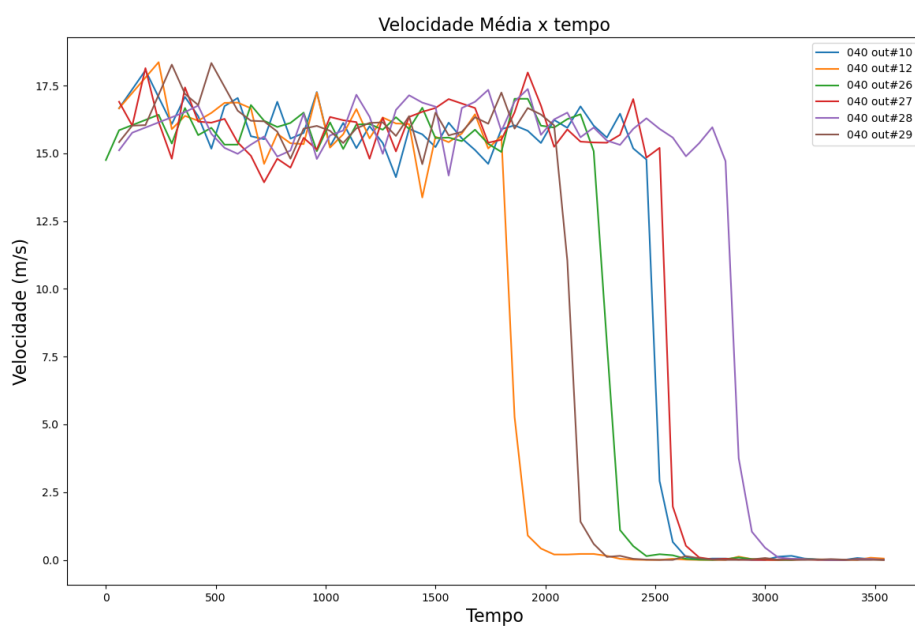
Lista dos detectores de tráfego e sua localização:

030 in	Localizado no MG030 pista sentido BH-NL
030 out	Localizado na MG030 pista sentido NL-BH
040 in	Localizado na Av Nossa Senhora do Carmo, altura do Ponteiro, pista direção Belvedere
040 out	Localizado na Av Nossa Senhora do Carmo, altura do Ponteiro, pista direção Savassi
Djalma Andrade In	Localizado na Av. Jornalista Djalma Andrade, pista sentido Belvedere
Djalma Andrade Out	Localizado na Av. Jornalista Djalma Andrade, pista sentido Vale

Os anos das simulações estão especificados nos gráficos na forma "20XX". Ou seja, a legenda "030 in#10" significa "Medidor na entrada da MG030 no ano de 2010"; e a legenda "040 out#26" significa "Medidor na saída da 040 (Av. Nossa Senhora do Carmo) no ano de 2026".



Variação da velocidade no detector da entrada da MG030 ao longo do tempo de simulação (s)

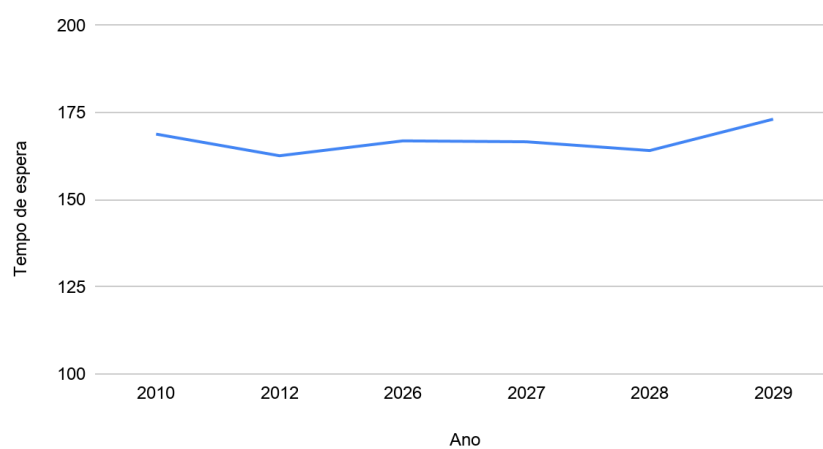


Variação da velocidade no detector da saída da MG356 ao longo do tempo de simulação (s)

4.1. Análise Estatística Geral

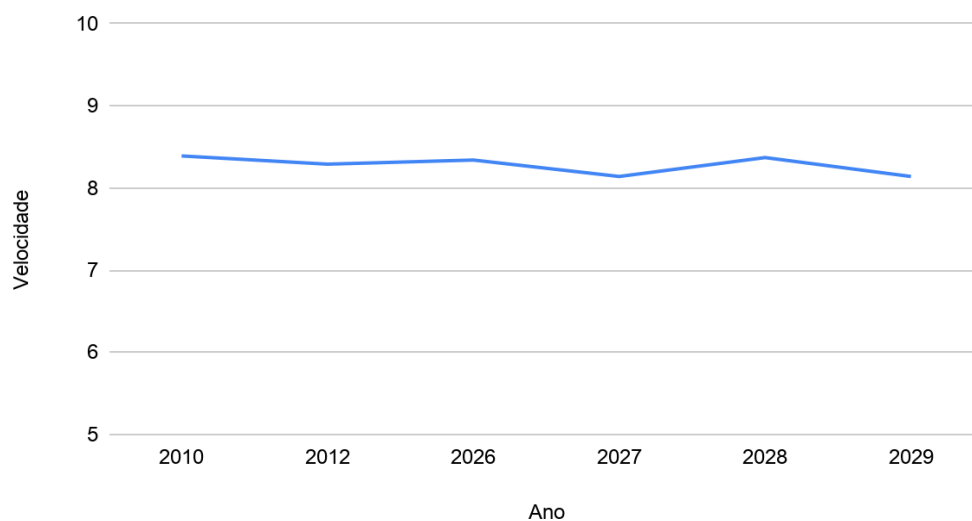
- **Variação Mínima:** O Tempo de Espera apresentou uma variação máxima de apenas **6%** entre todos os cenários simulados.
- **Aumento de Tempo em Obras Futuras:** O cenário projetado para 2029 aponta para o maior tempo de viagem (902,89 segundos) e maior tempo perdido (747,78 segundos), indicando saturação severa mesmo com a adição de novas vias.

Tempo de espera vs. Ano



Variação do tempo de espera de cada veículo

Velocidade vs. Ano



Variação da velocidade média (m/s) nos vários cenários

5. ANÁLISE TÉCNICA E FUNDAMENTAÇÃO

5.1. O Paradoxo de Braess

A ausência de melhorias significativas nos tempos de viagem após a introdução de novas obras decorre do **Paradoxo de Braess** (Dietrich Braess, 1968). O princípio demonstra que a expansão de uma rede rodoviária pode deteriorar o desempenho geral do tráfego.

Como os motoristas agem de forma individualista buscando a rota mais rápida no curto prazo, o "Equilíbrio de Usuário" diverge do "Ótimo do Sistema". A nova rota torna-se altamente atrativa, gerando sobrecarga imediata e reconfigurando os gargalos para novos pontos da rede. Esse fenômeno é amplamente documentado em estudos internacionais de cidades como Nova York, Seul e Stuttgart, onde o fechamento ou remoção de vias reduziu o congestionamento global.

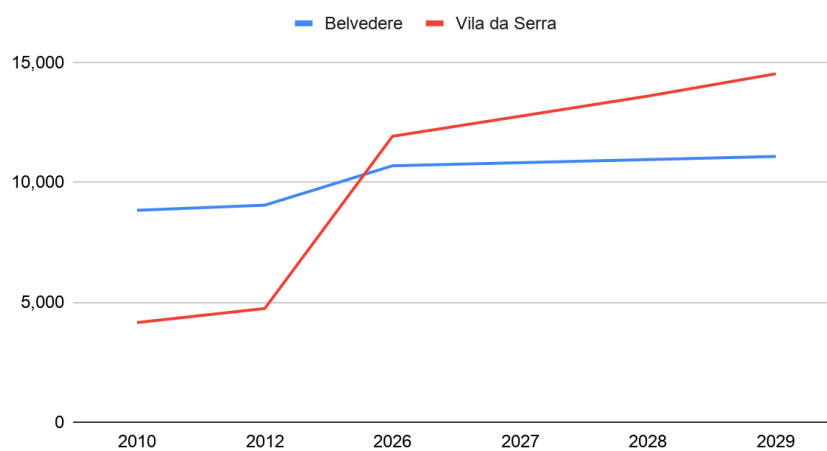
- **Nova York** (1990): O fechamento temporário da 42nd Street (uma via arterial importante) reduziu o congestionamento na região em vez de piorar.
- **Seul, Coreia do Sul** (2005): O governo demoliu uma grande rodovia elevada de seis pistas que cortava o centro da cidade (substituindo-a por um parque linear e restaurando o riacho Cheonggyecheon). O tráfego nas ruas ao redor fluiu com mais velocidade após a remoção da via.
- **Stuttgart, Alemanha** (1969): Após a construção de uma nova via no centro da cidade, o tráfego colapsou. O paradoxo só foi resolvido quando a prefeitura decidiu fechar essa mesma rua recém-criada para veículos.

5.2. Análise Demográfica Comparativa

O impacto do tráfego é amplificado pelo crescimento populacional acentuado e geograficamente concentrado no vetor Sul:

- **Belvedere (Belo Horizonte)**: Vetor consolidado nas décadas passadas. Apresenta crescimento médio anual residual estimado em **~1,2%**.
- **Vila da Serra (Nova Lima)**: Expansão vertical intensa pós-2010. Apresenta crescimento demográfico médio anual estimado em **~6,8%**.

População Belvedere e Vila da Serra



Crescimento populacional dos bairros Belvedere-BH e Vila da Serra-NL

Esta assimetria demográfica resulta em uma taxa de geração de viagens por automóveis particulares muito superior à capacidade de absorção das vias de conexão existentes.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As simulações computacionais demonstram que as obras de engenharia focadas estritamente na expansão asfáltica possuem baixa eficácia real para sanar o problema de tráfego do vetor Sul a médio e longo prazo.

Intervenções de impacto local — como a trincheira na MG-030 sob a Av. Oscar Niemeyer — não alteram a dinâmica macro de mobilidade. Por outro lado, obras de grande impacto socioambiental — como a Avenida Parque da Linha Férrea (planejada sobre área verde) ou o Viaduto da Ferradura (que demanda redução da área da Reserva do Cercadinho) — apresentam altos custos ambientais para retornos de tráfego tecnicamente nulos ou negativos.

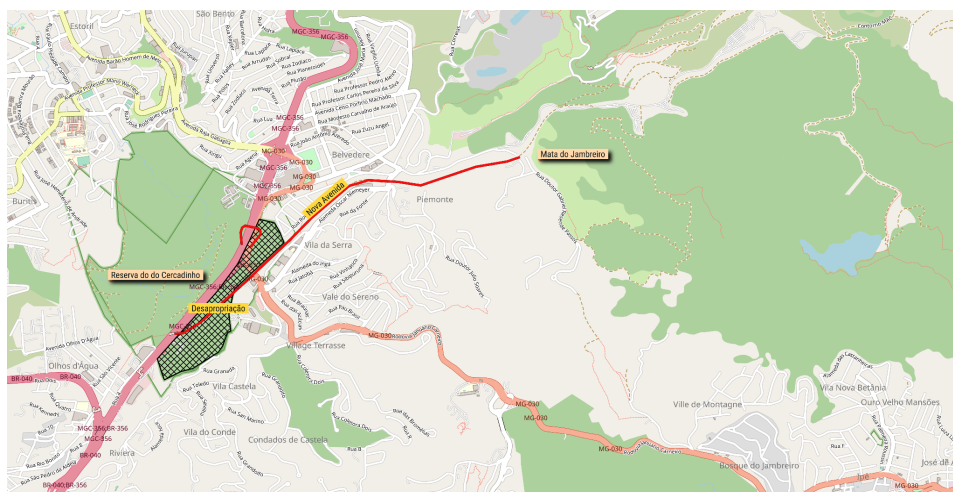
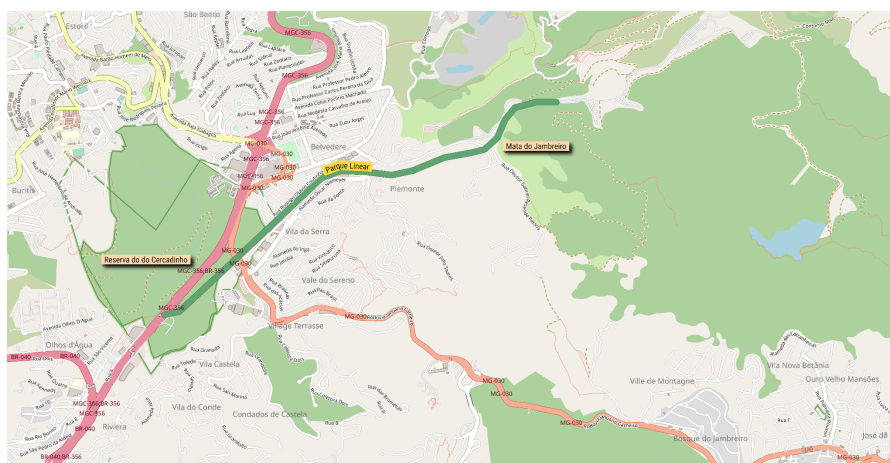


Ilustração da ocupação viária sobre áreas verdes.



Mapeamento da conexão ecológica entre Belvedere e Reserva do Cercadinho.

Diretrizes Recomendadas:

1. **Suspensão de Projetos Unimodais de Grande Impacto:** Recomenda-se reavaliar os projetos da Avenida Parque da Linha Férrea e do Viaduto da Ferradura devido ao seu impacto ambiental e ineficácia comprovada em simulação.
2. **Migração para Soluções Multimodais:** O foco do planejamento regional deve migrar da expansão de vias para o investimento em infraestrutura de transporte coletivo de média e alta capacidade (ex: transporte metro-ferroviário via ramais existentes e sistemas complementares segregados).
3. **Preservação e Conectividade Ecológica:** Priorizar a consolidação de parques lineares e a proteção da Reserva do Cercadinho como ativos urbanos e ambientais indispensáveis, desvinculando o planejamento viário de pressões imobiliárias ou imediatismos políticos.

7. REFERÊNCIAS

1. Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (Agência RMBH). Matrizes Origem-Destino RMBH. Disponível em: <https://www.agenciarmbh.mg.gov.br/bi-matrizes-origem-destino/>.
2. Braess, D. (1968). Über ein Paradoxon der Verkehrsplanung. Unternehmensforschung.
3. Eclipse SUMO - Simulation of Urban Mobility. DLR (German Aerospace Center) Institute of Transportation Systems. IEEE Explore. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8569938>.
4. Município de Nova Lima. Notícias sobre obras viárias e Parque da Linha Férrea. Disponível em: <https://novalima.mg.gov.br/>.
5. O Expresso. Projeto do Parque Linear do Belvedere. Disponível em: <https://oexpresso.org/parquelinear/>.

8. Autor

Eng. Luciano Murta

luciano.murta@gmail.com