

# Modelagem Geoespacial da Mobilidade de Ouro Preto usando o Sistema Hexagonal H3

Bernardo Sant' Anna Costa

Novembro 21, 2025

## 1 Introdução

A gestão da mobilidade urbana em cidades com topografias acidentadas e preservações históricas apresentam desafios que vão além do planejamento de tráfego, especialmente com o aumento da população e a demanda por transportes sustentáveis e eficientes. No caso a literatura recente aponta que a resiliência das redes de transporte (que é a capacidade da rede de manter a funcionalidade mesmo com falhas ou desastres) é uma questão central para o planejamento urbano (Azolin 2019).

O município de Ouro Preto é um caso onde o turismo, a geografia acidentada e a preservação do patrimônio histórico impõem desafios únicos à mobilidade urbana. Conforme apontado por (Gomes 2024), a configuração da malha viária impõem a existência de pontos críticos que quando bloqueados podem isolar áreas inteiras da cidade. Por exemplo a região do Morro da Forca e da Rua Padre Rolim estão em áreas de alto risco geológico. Eventos recentes de deslizamentos de terra representam riscos à segurança física e impedimento ao acesso a serviços públicos essenciais como saúde e educação.

Mesmo sendo um problema relevante e atual, as abordagens tradicionais de análise espacial muitas vezes não são capazes de capturar a granularidade necessária da mobilidade urbana de Ouro Preto. Modelos baseados em zoneamento de bairros podem generalizar demais os padrões de deslocamento, e uma análise puramente topológica deixa de integrar dados heterogêneos como por exemplo mapas de risco e uso do solo.

Por isso a análise de dados da mobilidade urbana é uma ferramenta importante para a gestão pública e o planejamento urbano. Permitindo a compreensão dos padrões de deslocamento, encontrar gargalos no sistema de transporte e propor melhorias que o tornem resilientes. Por isso, este trabalho propõe a utilização do sistema de indexação hexagonal H3 (Uber Technologies 2018a). O objetivo é simular cenários de bloqueio na malha viária de Ouro Preto e avaliar o impacto na acessebilidade dos serviços públicos essenciais tal qual o da rede de transporte público. Com essa abordagem de células hexagonais espera-se prover os gestores públicos uma ferramenta com integra dados heterogêneos e granular da mobilidade urbana, permitindo a gestão de riscos e a melhoria da resiliência do sistema de transporte público.

## 2 Justificativa

A análise de resiliência e acessibilidade da mobilidade em cidades com topografia complexa e com restrições viárias históricas, como Ouro Preto, exige uma metodologia que vá além das abordagens tradicionais. A escolha de usar o Sistema de indexação Hexagonal H3 (Uber Technologies 2018a) é fundamentada com base nas vantagens técnicas que superam as limitações das abordagens tradicionais.

O H3 é um sistema de grade global que divide o superfície da Terra em células hexagonais. Com essa base geométrica específica o H3 é superior para a agregação dos dados em comparação com células quadradas ou triangulares tradicionais (Uber Technologies 2018b).

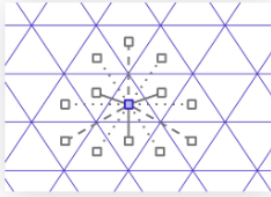
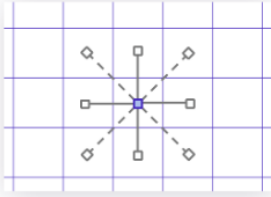
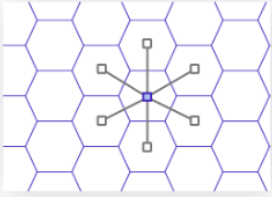
Triangle	Square	Hexagon
		
Triangles have 12 neighbors	Squares have 8 neighbors	Hexagons have 6 neighbors

Figura 1: Distâncias de um triângulo aos seus vizinhos (esquerda), de um quadrado aos seus vizinhos (centro) e de um hexágono aos seus vizinhos (direita).

A escolha da resolução 9, 10 ou 11 são importantes pois afetarão a granularidade da célula e dos dados que estão representando (Uber Technologies 2018c). Então para indexar os pontos críticos da malha viária de Ouro Preto, sendo o bloqueio de um hexágono capaz de representar o bloqueio de um trecho específico como o Morro da Forca ou um determinado ponto da Rua Padre Rolim.

A necessidade de simulação da perda de acessibilidade se encaixa na capacidade do H3 de modelar o fluxo de movimento (Uber Technologies 2018d). No caso deste trabalho isso permite que:

- Seja associado pesos para cada aresta direcionada. Pode ser o tempo da viagem.
- Modelar dinamicamente. O bloqueio de hexágono com risco geológico pode ser simulado e ser feito a análise da propagação dos efeitos na cidade de Ouro Preto.
- Recalcular novas rotas na nova configuração da malha viária. Permitindo o planejamento de rotas alternativas em casos de bloqueios.

### 3 Objetivo

O objetivo deste trabalho é desenvolver e executar uma simulação baseada no sistema de indexação hexagonal H3 para modelar a resiliência da malha viária de Ouro Preto, simulando o impacto de obstruções causadas por riscos geológicos na acessibilidade urbana.

O primeiro passo é estruturar base territorial de Ouro Preto em células hexagonais H3, integrando dados geoespaciais relevantes como a malha viária, pontos de ônibus, as rotas do transporte público, pontos críticos de risco geológico e a localização dos serviços públicos essenciais.

Em seguida, será implementada uma simulação que permita o bloqueio dinâmico de hexágonos representando áreas de risco, avaliando o impacto na acessibilidade dos serviços públicos e na eficiência do transporte público.

Depois buscar rotas alternativas para mitigar os efeitos dos bloqueios, analisando a resiliência da rede de transporte urbano. Com as novas rotas e a nova configuração da malha viária, as simulações serão executadas novamente até que se obtenha uma configuração resiliente. Sugerindo novas rotas para o transporte público e identificando áreas que necessitam de intervenções urbanas para melhorar a resiliência.

### 4 Revisão Bibliográfica

#### 4.1 Conceitos Básicos

#### 4.2 Trabalhos Correlatos

### 5 Materiais e Métodos

### 6 Resultados Alcançados

### 7 Considerações Finais

#### 7.1 Limitações e Trabalhos Futuros

## Referências

- [1] Luiza Gagno Azolin. “O transporte público em uma estratégia de avaliação da resiliência na mobilidade urbana”. Tese de dout. Universidade de São Paulo, 2019.
- [2] Hellen Carolina Teixeira Gomes. “Entre o caos e o labirinto: um estudo sobre a mobilidade urbana na cidade histórica de Ouro Preto/Minas Gerais.” Em: (2024).
- [3] Inc. Uber Technologies. *Home — H3 — h3geo.org*. <https://h3geo.org/>. [Accessed 23-11-2025]. 2018.
- [4] Inc. Uber Technologies. *Aggregation — H3 — h3geo.org*. <https://h3geo.org/docs/highlights/aggregation>. [Accessed 23-11-2025]. 2018.
- [5] Inc. Uber Technologies. *Tables of Cell Statistics Across Resolutions — H3 — h3geo.org*. <https://h3geo.org/docs/core-library/restable/>. [Accessed 23-11-2025]. 2018.
- [6] Inc. Uber Technologies. *Flow Modelling — H3 — h3geo.org*. <https://h3geo.org/docs/highlights/flowmodel/>. [Accessed 23-11-2025]. 2018.