

OBTENÇÃO DE DADOS DE ORIGEM E DESTINO ATRAVÉS DO SISTEMA INTELIGENTE DE TRANSPORTE DE BELO HORIZONTE (SITBus)

Daniel Martins Nogueira
Thiago Henrique de Oliveira Faustino
Gerência de Programação e Redes de Transporte (GESPR)

1. INTRODUÇÃO

Com os avanços tecnológicos cada vez mais presentes em nossa sociedade, fica evidente que a tecnologia vem desempenhando um papel significativo no dia a dia das pessoas. Isso se reflete nos deslocamentos urbanos, onde inovações vem surgindo, principalmente no contexto de transporte público. Neste cenário, destacam-se o surgimento dos Sistemas de Transporte Inteligentes (SITs), consistindo em um conjunto de aplicações tecnológicas voltadas para a solução de problemas comuns de transporte coletivo, como congestionamentos, imprevistos, falta de informação e planejamento. Estes sistemas englobam diversos componentes, como centros de controle de operação, sistemas de sinalização de tráfego, monitoramento e fiscalização remotos, pagamento eletrônico, gerenciamento de incidentes de trânsito, respostas a emergências e fornecimento de informações em tempo real.

No âmbito dos SITs, os Sistemas de Bilhetagem Eletrônica (SBE) foram implementados como um dos primeiros processos de automação nas redes de transportes. A tecnologia surgiu como uma alternativa para otimizar a produtividade, permitindo embarques mais rápidos devido à agilidade na cobrança por meio da tecnologia empregada, possibilitando o pagamento antecipado de créditos eletrônicos pelos passageiros, com dados armazenados em *smartcards* e posteriormente lidos em validadores instalados nos ônibus. Ainda nos SITs, sistemas de monitoramento por *GPS* vêm sendo difundidos ao longo dos anos, sendo capazes de fornecer informações sobre as posições dos veículos em tempo real durante a operação, possibilitando o acompanhamento diário de toda a operação do sistema.

Haja vista toda a evolução tecnológica associada e os recursos computacionais disponíveis na atualidade, incluindo a evolução de capacidade de processamento de grandes volumes de dados e a disponibilidade de rotinas de programação em *Big Data*, com diversas aplicações em diversas áreas, observou-se a possibilidade de obter dados de demanda de transporte público que, associados aos dados de oferta dos sistemas, permitem uma série de inferências e de análises comportamentais dos passageiros utilizando informações provenientes dos SITs.

O Anexo VIII do Edital de Concorrência Pública nº 131/2008, da Prefeitura de Belo Horizonte apresenta as diretrizes para a implantação de um modelo de Sistema Inteligente de Transporte (SIT) na cidade, como parte integrante do Sistema de Transporte Coletivo Municipal. Esse sistema específico é chamado de SITBus (Sistema Inteligente de Transporte por Ônibus do Município de Belo Horizonte) e oferece a possibilidade de identificar a malha viária, cadastrar os Pontos de Embarque e Desembarque (PEDs), rastrear a localização de cada veículo no sistema e os horários de validações de todos os cartões nas 24 (vinte e quatro) horas do dia e em todos os dias da semana.

A partir de tais afirmações, o presente documento apresenta um método proposto para a obtenção de informações de origem e destino para cada passageiro do sistema de transporte público coletivo municipal e a estrutura do algoritmo desenvolvido em linguagem R para este fim (https://github.com/bhtrans/Origem-e-Destino/blob/6e5b72490465db309826cc300e11d859a3d85b7a/OD_expansao%20com%20Dados%20espaciais.R). Assim, este documento poderá servir como referência para estudos similares em outras localidades, bem como expor as limitações e restrições técnicas a serem consideradas na utilização de tais dados como base em estudos de rede de transporte mais aprofundados.

2. DESCRIÇÃO METODOLÓGICA

2.1. Levantamento de dados

Como primeira etapa no desenvolvimento do método proposto, faz-se necessário a obtenção das informações provenientes dos Sistemas de Bilhetagem Eletrônica (SBE), dados de GPS dos veículos e informações básicas da estrutura de transporte disponível na localidade analisada, incluindo a localização das paradas de ônibus e estações e frequência dos trajetos analisados. Para este trabalho, os itens serão descritos a seguir.

2.1.1. Os registros de Bilhetagem Eletrônica em Belo Horizonte

A tabela, denominada neste estudo como SBE (Sistema de Bilhetagem Eletrônica), apresenta os registros obtidos por meio do sistema de bilhetagem eletrônica. Esses registros contêm informações detalhadas sobre a utilização de cartões pelos usuários, bem como os registros de pagamento em dinheiro.

A tabela SBE fornece informações como o horário de validação, valor pago e o tipo de cartão utilizado pelos usuários. Além disso, ela registra os pagamentos realizados em dinheiro pelos usuários.

Os dados são extraídos do sistema CITOP e estão estruturados da seguinte forma:

- **NOME_OPERADORA:** Nome da operadora responsável pelos serviços de transporte.
- **CODIGO_VEICULO:** Código atribuído ao veículo utilizado no momento da utilização do cartão.
- **CODIGO_LINHA:** Código correspondente à linha em que o veículo estava operando.
- **CARTAO_USUARIO:** Número do cartão utilizado pelo usuário para pagamento da passagem ou identificação do pagamento em dinheiro.
- **TIPO_CARTAO:** Tipo de cartão utilizado pelo usuário, como por exemplo "VT CARGA A BORDO" (Vale Transporte com carga a bordo), "CARTÃO AO PORTADOR" (cartão sem identificação do usuário), "ESTUDANTE PASSE" (passe estudantil) ou identificação do pagamento em dinheiro.
- **DATAHORA_UTILIZACAO:** Data e hora exatas em que o cartão foi utilizado para acessar o transporte ou registro do pagamento em dinheiro.
- **VALOR_COBRADO:** Valor monetário cobrado pelo uso do transporte nesse registro específico.

2.1.2. Dados operacionais consolidados das linhas

Os dados operacionais consolidados das linhas analisadas são obtidos por meio do Mapa de Controle Operacional (MCO), um relatório diário que registra os principais dados e parâmetros de cada viagem realizada. Esse relatório inclui informações como a linha e sublinha, horário de partida e chegada, catraca inicial e final, e o total de passageiros.

Os dados do MCO são extraídos do sistema CITOP, sendo disponibilizados os dados do dia anterior (D-1). Os campos presentes nesse arquivo incluem:

- **Código Operadora:** Código da operadora responsável pela operação daquela viagem;
- **Nome Operadora:** Nome da operadora responsável pelos serviços de transporte;
- **Nome Garagem:** Descrição / Endereço da garagem da empresa operadora;
- **Código Interno Linha:** Código interno atribuído à linha de ônibus, utilizado no sistema de bilhetagem eletrônica;
- **Código Externo Linha:** Código externo atribuído à linha de ônibus, sendo o código no qual o usuário identifica a linha;
- **Nome Linha:** Nome da linha de ônibus;

- Num Terminal: Número do ponto de controle onde a viagem começa ou termina;
- Viagem: Descrição do tipo de viagem (Ociosa ou normal);
- Código Veículo: Código atribuído ao veículo utilizado na viagem;
- Numero Veículo: Número do veículo utilizado na viagem;
- Data Hora Início Operação: Data e hora em que a viagem começou;
- Data Hora Final Operação: Data e hora em que a viagem terminou;
- Cartão Motorista: Número do cartão atribuído ao motorista;
- Cartão Cobrador: Número do cartão atribuído ao cobrador;
- Catraca Pendente: Indicador de catraca pendente;
- Catraca Inicial: Valor inicial do contador da catraca;
- Catraca Final: Valor final do contador da catraca;
- Distância Viagem: Distância percorrida durante a viagem;
- Passageiros: Número de passageiros transportados;
- Inteiras VT: Número de passagens inteiras pagas com Vale-Transporte;
- VT Integração: Número de passagens pagas com Vale-Transporte na integração;
- Gratuidade: Número de passagens concedidas gratuitamente;
- Passagens: Número total de passagens pagas;
- Bilhete Unitário: Número de passagens pagas com bilhete unitário;
- Passagens Integração: Número de passagens pagas na integração;
- Estudantes: Número de passagens pagas por estudantes;
- Estudantes Integração: Número de passagens pagas por estudantes na integração;
- Intervalo Viagem: Tempo de intervalo entre viagens;
- Terminal: Terminal de ônibus utilizado;
- Data Coleta: Data em que os dados foram coletados;
- Data Hora Início: Data e hora de início da coleta de dados, e;
- Data Hora Inserção: Data e hora de inserção dos dados na tabela.

2.1.3. Dados com os horários de passagem em cada ponto de parada no município

A tabela, denominada neste estudo como GPS, apresenta os registros de atendimento a cada Ponto de Embarque e Desembarque (PED) em cada viagem do sistema, apresentando os dados de linha, veículo, código do ponto e data/hora. Cada linha da tabela representa uma passagem específica em um determinado PED.

Os dados são extraídos do sistema CITGIS e estão estruturados da seguinte forma:

- Data: A data em que ocorreram as passagens;
- Lin_sg_linha: Código da linha de ônibus;
- Sub_lin_sg_linha: Código da sublinha da linha de ônibus;
- Vei_nro_veiculo_gestor: Número do veículo utilizado na viagem;
- Par_cod_siu: Código do PED;
- Horário_passagem: Horário de passagem no ponto;
- Cod_viagem: Código da viagem;
- Inicio_viagem: Data e hora de início da viagem, e;
- Sentido_itinerario: Ponto de Controle de origem.

2.1.4. Mapeamento da infraestrutura de transporte existente

Mapeamento da infraestrutura de transporte existente, incluindo localização de pontos de parada, estações e terminais de integração.

O arquivo SUBLINHA_VS_PED, extraído no BH03 contém as seguintes informações:

- Linha: Código da linha de ônibus;

- Sublinha: Código da sublinha da linha de ônibus;
- PC: Número do ponto de controle onde a viagem começa ou termina;
- Programação: programação de itinerário vigente em questão;
- Num Seq Itin: número que representa a ordem das vias ao longo do itinerário da sublinha;
- Vigência: data de início da programação de itinerário vigente;
- Validade: data de término da programação de itinerário;
- Tipo Ponto: se o ponto é um PC (Ponto de Controle), PR (Ponto de Retorno), NOT (Operação Noturna) ou PED (Ponto de Embarque e Desembarque comum);
- Nº Município: código do município onde o ponto está localizado com base no cadastro da PRODABEL;
- Nº Logradouro: código do logradouro onde o ponto está localizado com base no cadastro da PRODABEL;
- Nº Imóvel: número do imóvel no qual o ponto está localizado em frente;
- Berço Estação: código da plataforma da estação de integração cadastrada no respectivo ponto;
- Código Alternativo: código alternativo utilizado pela BHTRANS para identificação de pontos importantes na cidade, geralmente localizados no perímetro da Avenida do Contorno;
- Bairro: bairro onde o ponto está localizado;
- Nº Município Anterior: código do município do logradouro que possui interseção anterior ao logradouro do ponto;
- N Logradouro Anterior: código do logradouro que possui interseção anterior ao logradouro do ponto;
- Trecho Anterior: nome do logradouro que possui interseção anterior ao logradouro do ponto;
- Nº município Posterior: código do município do logradouro que possui interseção posterior ao logradouro do ponto;
- Nº Logradouro Posterior: código do logradouro que possui interseção posterior ao logradouro do ponto;
- Trecho Posterior: nome do logradouro que possui interseção posterior ao logradouro do ponto;
- Referência Ponto: ponto de referência do PED avaliado;
- Tipo de Placa: indica se a placa utilizada no PED é do tipo seletiva ou não;
- Tipo de abrigo: indica o tipo de abrigo instalado no PED em questão;
- Tipo de Fixação: indica o tipo de suporte utilizado para fixação da placa do ponto;
- Tipo Cood: indica o tipo de código no PED em questão;
- Baia: indica se há presença de sinalização horizontal do tipo Baia no PED;
- Estação: informa se o ponto está instalado dentro de uma estação de integração e/ou transferência;
- Nome do PED: nome do ponto de parada;
- Regional PBH: nome da regional onde está instalado o PED com base no cadastro da Prefeitura de Belo Horizonte;
- Regional BHTRANS: nome da regional onde está instalado o PED com base na organização das Gerências de Ação Regional da BHTRANS;
- Código da UP: Código da Unidade de Planejamento (UP) onde está instalado o PED, com base no Cadastro Técnico Municipal (CTM);
- Nome da UP: Nome da Unidade de Planejamento (UP) onde está instalado o PED, com base no Cadastro Técnico Municipal (CTM);
- Território: Código do Território de Gestão Compartilhada onde está instalado o PED, com base no CTM;
- Região Ponto Parada: Região correspondente a RTS onde o PED está instalado, com base no Edital de Concorrência Pública nº 131/2008;
- Código SIU: Código único do PED;

- Berço: indica o nome da plataforma onde o ponto está instalado, se ele estiver dentro de uma estação de integração e/ou transferência;
- Frequência: indica a frequência de veículos em operação no respectivo PED;
- Iluminação: indica se há iluminação instalada no PED;
- Embarque: Indica o número de passageiros embarcados no PED na hora-pico;
- Tipo Pico: Indica se o horário de pico da operação do PED é manhã ou tarde;
- Descrição Linha: nome da linha em operação no PED;
- Descrição sublinha: nome da sublinha em operação no PED;
- Coord. X: Coordenadas geográficas associadas ao PED, com base no DATUM SIRGAS 2000;
- Coord. T: Coordenadas geográficas associadas ao PED, com base no DATUM SIRGAS 2000;
- Latitude WGS84: Coordenadas geográficas associadas ao PED, com base no sistema de referência WGS84;
- Longitude WGS84: Coordenadas geográficas associadas ao PED, com base no sistema de referência WGS84;
- Estação: nome da estação associada ao qual o ponto está instalado;
- Painel SIU: Tipo de painel de previsão instalado no ponto em questão, e;
- Gestor: Nome do órgão gestor da linha em operação.

O arquivo X e Y estações, contém os seguintes dados:

- SIU: Código referente a linha em operação da referida estação conforme o cadastro no SBE;
- x: Coordenadas geográficas associadas ao PED, com base no DATUM SIRGAS 2000, e;
- Y: Coordenadas geográficas associadas ao PED, com base no DATUM SIRGAS 2000;

2.2. Definição dos pontos de embarque

É importante citar que para os embarques realizados em estações nas quais há pagamento antecipado para o acesso ao transporte público, há uma estrutura fixa e, portanto, com coordenada geográfica conhecida. Nesse sentido, esta etapa consiste apenas na ligação relacional entre os bancos de dados geográficos e os dados de validação nos locais estudados para relacionar a localização das utilizações com cartões. Desse modo, como primeira etapa, separa-se tais validações do banco de dados completo. Em Belo Horizonte, as estações possuem códigos de linhas específicas, simulando a linha de ônibus operada.

Há uma complexidade um pouco maior na dedução dos locais de embarque no caso de uso nos ônibus, se comparado com as infraestruturas físicas das estações. Esta complexidade deve-se à dinamicidade de localização dos veículos ao longo da viagem, com posição geográfica alterada ao longo do dia. Assim, o procedimento metodológico seguirá as etapas descritas a seguir.

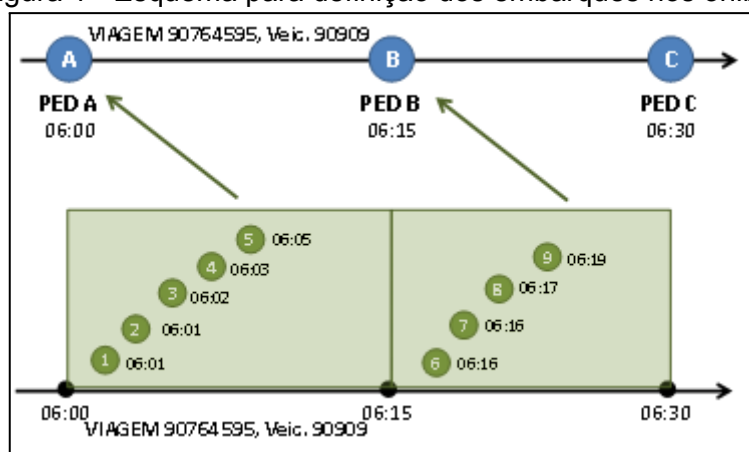
Para definir os embarques nos ônibus, limitações na coleta dos dados e na transmissão das informações devem ser consideradas, haja vista que problemas diversos de conexão são associados a obtenção de dados de GPS, principalmente relacionados a falhas nas conexões GPRS dos veículos, comprometendo a base de dados em alguns casos e impossibilitando a associação dos embarques. Assim, tem-se que a utilização do cartão estará condicionada à presença ou não de informações correspondentes dos horários de passagem de cada veículo no sistema. Desse modo, faz-se uma verificação prévia da presença das respectivas informações nos bancos de dados, verificando se há registros de determinados veículos em cada faixa horária do dia analisado.

Então a associação de cada cartão para cada ponto de parada é obtida com a criação de duas colunas CHAVE nos bancos de dados de GPS e SBE. Tal coluna é obtida através da

concatenação das colunas associadas ao número do veículo e o horário de passagem ou o horário de utilização dos cartões.

A coordenada geográfica associada ao local de uso do cartão será definida com base nos dados de GPS dos veículos. Para tal, considera-se a suposição de que o pagamento da tarifa ocorreu momentos após o embarque e, de maneira semelhante, em momentos próximos a hora de passagem do veículo em determinado Ponto de Embarque e Desembarque (PED), com características geográficas relacionadas. A Figura 1 exemplifica o procedimento adotado por Munizaga e Palma (2012) com este objetivo.

Figura 1 - Esquema para definição dos embarques nos ônibus



Fonte: Adaptado de Munizaga e Palma (2012)

O código para obtenção, portanto, fará a localização dos embarques de acordo com os horários de passagem de cada veículo, usando como referência a coluna CHAVE na sua comparação. Por fim, a associação se dará com o respectivo CÓDIGO SIU. O *dataset*, então, receberá todos os outros cartões das estações para compor a base de dados bruta neste cenário, recebendo novamente todos os cartões do dia. Como as estações possuem localização fixa, será adotado o código da linha como código SIU nesta etapa.

2.3. Definição do par origem-destino

A definição dos locais de destino de cada validação pode ser associada às suas validações subsequentes, em sistemas aos quais não há a necessidade de validação do cartão durante o desembarque, sendo esta grande realidade dos casos brasileiros. Diante desta situação, algumas suposições precisam ser consideradas. Arbex e Cunha (2017) definem que:

- O destino do passageiro será o local mais próximo da origem da próxima viagem;
- A última utilização do dia terá como destino o local da primeira, e;
- Considera-se a utilização da rede de transporte em todo o trajeto.

Para definição de estudos isolados, considerando os deslocamentos em cada serviço, as suposições adotadas são suficientes para serem consideradas. Entretanto, no caso de grandes redes analisadas, onde há a realização de transbordos em terminais de integração, pode-se afirmar que a viagem do usuário não foi finalizada em tais locais. Dessa maneira, deve-se utilizar outros serviços de transporte disponíveis para chegar ao seu destino final. Nesse contexto, Guerra (2011) sugere a adoção de intervalos específicos para diferenciar a realização de transbordos dos destinos finais dos deslocamentos. Neste sentido, BHTRANS (2008) define que as viagens que forem validadas com intervalos de até 90 minutos (ou 1h30min) são consideradas como viagens intermediárias e integradas entre si com desconto na segunda utilização.

Diante do exposto, propõe-se a adoção da seguinte suposição: se o intervalo de tempo entre a validação anterior e a atual for inferior de até 90min e o cartão analisado for identificado em mais de 3 utilizações ao longo do dia, a utilização em questão é um ponto de transbordo na viagem analisada, e, portanto, uma próxima validação será considerada como destino da primeira e a validação atual deverá ser desconsiderada da análise. A Tabela 5 ilustra um exemplo na situação de validações em sequência.

Tabela 5 - Exemplo de definição de destino para cartões considerando o transbordo em terminais de integração

| Código do cartão | Hora de utilização | Linha utilizada | PED de embarque | Intervalo entre validações | Status validação |
|------------------|--------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| 123 | 09:15:00 | 2101 | 30998 | 00:00:00 | Origem |
| 123 | 13:30:00 | 8203 | 90772 | 04:15:00 | Destino |
| 123 | 14:24:00 | 2101 | 30499 | 00:54:00 | Validação intermediária |

Fonte: Dos autores

Considerando a possibilidade de compartilhamento de um cartão entre diferentes usuários, como no caso de validações sequenciais de um mesmo cartão em determinadas viagens em curtos intervalos de tempo, pode-se afirmar que o destino do passageiro em questão não é aquele ao qual foi identificado a próxima validação, considerando que ela foi realizada em instantes após a primeira e, portanto, pode ser considerada como um compartilhamento de determinado cartão. Dessa maneira, para este fim, será adotado o seguinte critério: caso as validações forem realizadas com intervalos inferiores a 5 minutos, o destino da viagem anterior deverá ser o da validação posterior e a validação analisada será desconsiderada na definição do par origem-destino.

Ainda há o caso encontrado de registro de cartão em um mesmo local em diferentes partes do dia ou em validações próximas dos locais de origem e destino. Para este caso, calculou-se a distância, em linha reta, entre os pontos de origem e destino encontrados, optando por desconsiderar aquelas validações com distâncias inferiores a 600 (seiscentos) metros, parâmetro adotado com base nos critérios de acessibilidade definidos no Edital de Concorrência Pública nº 131/2008 (BHTRANS, 2008). Dessa maneira, foram calculadas as distâncias por meio de um loop, até que seja encontrado um par origem-destino que respeitasse a distância estabelecida.

2.4. Expansão dos resultados

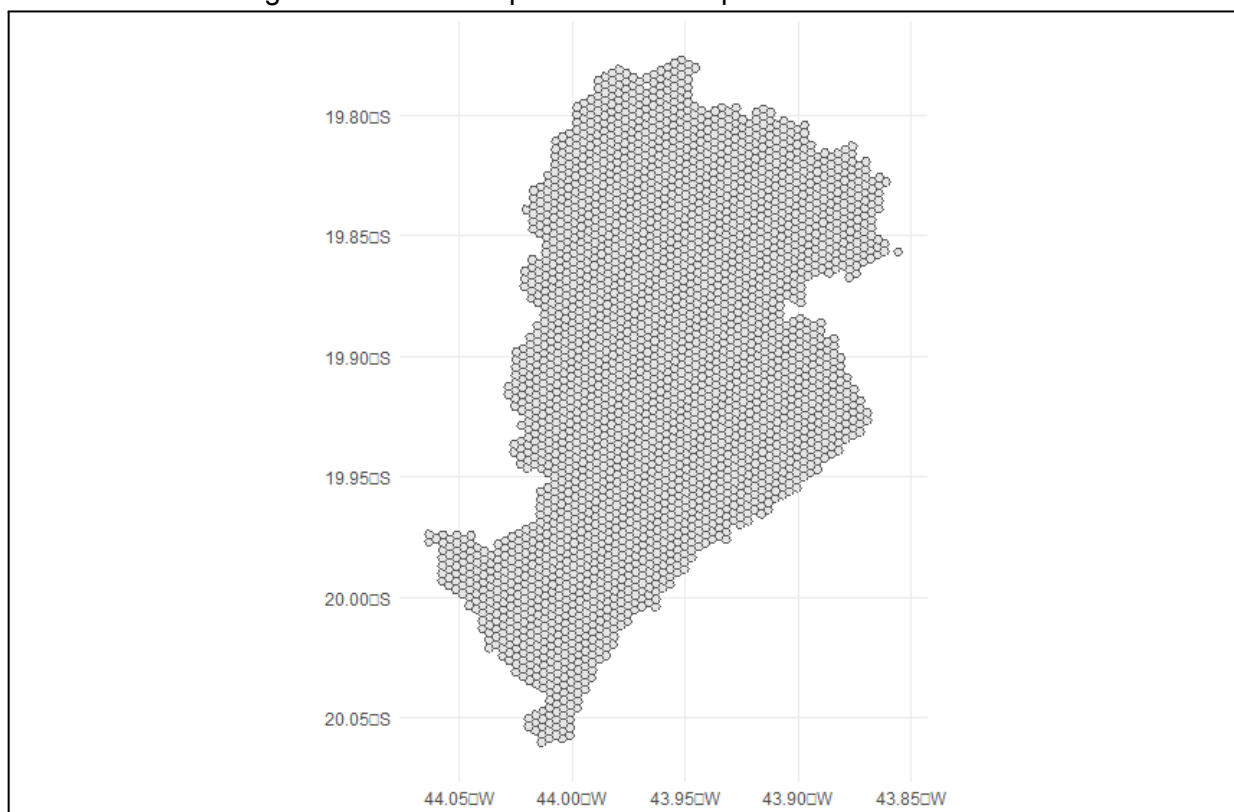
Considerando que nem todas as viagens são passíveis de se obter as informações para origem-destino, tais como as viagens daqueles passageiros que optaram por realizar os pagamentos das tarifas com dinheiro, bem como os cartões nos quais não há registros de mais de uma validação ao longo do dia. Destarte, para este trabalho, optou-se por assumir que tais utilizações possuem comportamento similar com aquelas possíveis de serem identificadas e, portanto, é necessário a construção de fatores de expansão com os dados estudados. Para tal, são observadas duas etapas: a expansão pelo fator espacial e a expansão pelo total de passageiros transportados em cada serviço, baseando-se no processo descrito por Munizaga e Palma (2012).

Como primeira etapa, atribui-se a localização espacial de cada embarque com base nos cadastros da infraestrutura de transporte disponível considerando as coordenadas geográficas associadas a cada registro. A partir de então, tem-se o conceito de Zonas de Tráfego (ZTs), que é amplamente utilizado em Engenharia de Transportes. Tem-se, nesse sentido, a divisão da área de estudo em áreas com interesses e características em comum, podendo ser a renda, desejo de viagens, e outros atributos homogêneos.

Uma série de características presentes em uma zona trará influências significativas na distribuição de viagens, portanto, *“deve-se agrupar tais regiões de maneira que as características intrazonais*

sejam homogêneas e as características interzonais sejam heterogêneas” (Ribeiro, 2012). Para este estudo, é adotada a grade obtida através do H3, sistema de grid da Uber, com aplicações diversas em vários estudos e utilizado originalmente para a otimização e precificação do gerenciamento das corridas do aplicativo (BRODSKY, 2018). Tal grade reparte o globo terrestre em células de grid identificáveis onde há um único ponto contido na região associado a divisão estabelecida, formando células hexagonais com representações do espaço. Para a obtenção de tais dados, foi considerado o grid disponibilizado no pacote *aopdata* no *R* (Pereira *et. al*, 2022). A representação do município na divisão adotada está ilustrada na Figura 2.

Figura 2 - Divisão espacial do município adotada no estudo



Fonte: Pereira *et. al* (2022)

Destaca-se que cada célula possui um identificador único. Diante disso, sobrepondo os dados de localização dos pontos com a grade utilizada, foram atribuídos os mesmos identificadores para cada validação possível de obter os dados de embarques e, com base nessa associação, definiu-se fatores de expansão a serem aplicados nos dados de origem e destino conhecidos, sendo desconsideradas todas as validações descartadas em passos anteriores. Assim, todos os registros de utilização com origem e destino conhecidos foram expandidos considerando os registros com apenas a origem obtida, da seguinte maneira:

$$FE1_i = \frac{UT_i}{UT_{ij}}$$

onde: $FE1$ = fator de expansão inicial associado ao hexágono i ;

UT_i = total de utilizações no hexágono i obtidas com origem conhecida e destino desconhecido, e;

UT_{ij} = total de utilizações obtidas com origem no hexágono i e destino conhecido.

Em seguida, considerando os resíduos dos passageiros nos quais não é possível obter os embarques conhecidos, foram utilizadas as informações provenientes do total de passageiros registrados em cada faixa horária para cada linha, sublinha e ponto de partida. De modo análogo com o método anterior, foram retirados o total de passageiros com registros de validações com intervalos menores do que 90 (noventa) minutos. Assim, a expansão final foi obtida da seguinte maneira:

$$FE2_{kh} = \frac{P_{kh}}{\sum_i FE1_{ik}}$$

onde: $FE2_{kh}$ = fator de expansão final associado na viagem k operada na faixa horária h ;

P_{kh} = total de passageiros registrados na viagem k operada na faixa horária h ;

$FE1_{ik}$ = fatores de expansão iniciais associados na viagem k operada na faixa horária h

Por fim, são gerados arquivos no formato CSV com a relação de cada viagem e seus respectivos fatores de expansão associados.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do método descrito apresenta uma série de facilidades para a sua execução, sendo a rapidez para geração dos dados a mais representativa. Destaca-se que a aplicação pode ser realizada em quaisquer dias da semana e em quaisquer tempos solicitados. Deste modo, pode-se afirmar que tais dados são capazes de subsidiar a realização de estudos relacionados à rede de transporte existente, principalmente na proposição de melhores condições para o atendimento da demanda dos cidadãos, considerando a possibilidade de realização das análises de integrações temporais (políticas tarifárias), dos itinerários existentes e a adequação da oferta ao desejo de deslocamentos da cidade.

Entretanto, destaca-se que há limitações a serem consideradas no desenvolvimento de diversos estudos que possuam como fonte tais informações, haja vista os critérios adotados na associação das viagens diversas. Neste cenário, entende-se que seja necessário a realização de estudos comparativos com métodos já utilizados tradicionalmente com o mesmo fim, para a verificação da coerência dos resultados expostos e a realização de possíveis ajustes no método, no caso da presença de inconsistências significativas entre os resultados.

Entende-se que o método proposto é capaz de obter amostras com volumes mais significativos se comparados com as coletas tradicionalmente realizadas por métodos tradicionais. Assim, pode-se supor que, na eventualidade de ocorrência de erros nas associações das origens e destinos, os passageiros sejam pulverizados frente ao volume de dados tratados no método proposto. Ainda ressalta-se que há a possibilidade de realização de estudos com bases de dados diferentes em todos os dias de determinado período, podendo ser associados mais dias no estudo, que poderão caracterizar melhor a demanda típica de operação, reduzindo ainda mais a eventualidade de realização de deslocamentos fora do padrão observado para os cidadãos.

Portanto, considerando todas as limitações expostas, entende-se que para sanar tais dúvidas frente a eficácia do método, ainda são necessários a complementação de informações, podendo ser realizadas por validações complementares em diferentes cenários ao longo do município. Na comprovação de assertividade das condições estabelecidas, propõe-se ainda a aplicação de técnicas de *machine learning* nos resultados encontrados para que sejam apresentadas previsões futuras dos deslocamentos, que servirão de base para aprimorar ainda mais os estudos de rede desenvolvidos no município.



**PREFEITURA
BELO HORIZONTE**

**BHTRANS - Empresa de Transportes
e Trânsito de Belo Horizonte**

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARBEX, Renato Oliveira; CUNHA, Claudio Barbieri da. **Estimação da matriz origem-destino e da distribuição espacial da lotação em um sistema de transporte sobre trilhos a partir de dados de bilhetagem eletrônica.** Revista Transportes, v. 25, n. 3, p. 166, 2017.

BRODSKY, Isaac. 2018. H3: **Uber's Hexagonal Hierarchical Spatial Index.** *Uber Engineering Blog*. <https://eng.uber.com/h3/>

BHTRANS (2008) **Editais de concorrência pública nº 131-2018 - Anexo VIII SITBUS - Sistema Inteligente de Transporte do Município de Belo Horizonte.** Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte S.A., Belo Horizonte-MG.

GUERRA, André Leite. **Determinação de Matriz Origem/Destino utilizando dados do sistema de bilhetagem eletrônica.** 2011.

MUNIZAGA, Marcela A.; PALMA, Carolina. **Estimation of a disaggregate multimodal public transport Origin–Destination matrix from passive smartcard data from Santiago, Chile.** Transportation Research Part C: Emerging Technologies, v. 24, p. 9-18, 2012.

PEREIRA, Rafael H. M., Daniel Herszenhut, Carlos K. V. Braga, Diego B. Tomasiello, and Marcus Saraiva. 2022. **Aopdata: Data from the Access to Opportunities Project.**

RIBEIRO, V. d C. **Análise de demanda por transportes de passageiros via modelos de regressão georeferenciados.** 2012. Tese de Doutorado. Dissertação, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES.