

**Elaboração de base para sistematização de
projetos de linhas metroviárias****Murilo Macedo Gabarra**Doutorando, FAU-USP, Brasil
murilogabarra@gmail.com**Helena Aparecida Ayoub Silva**Professora Doutora, FAU-USP, Brasil.
lena.ayoub@usp.br

Submissão: 24/10/2024

Aceite: 10/05/2025

GABARRA, Murilo Macedo; SILVA, Helena Aparecida Ayoub. Elaboração de base para sistematização de projetos de linhas metroviárias. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, [S. l.], v. 13, n. 89, 2025.DOI: [10.17271/23188472138920256111](https://doi.org/10.17271/23188472138920256111). Disponívelem: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/6111Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Elaboração de base para sistematização de projetos de linhas metroviárias

RESUMO

Objetivo - Este trabalho visa sistematizar os processos de projeto de linhas de metrô utilizando o Sistema de Informação Geográfica (SIG) por meio de base cartográfica digital com informações provenientes de bancos de dados públicos, que possam orientar a tomada de decisões no planejamento de linhas de metrô na cidade de São Paulo.

Metodologia A metodologia adotada fundamenta-se na aplicação de técnicas de geoprocessamento para o mapeamento de restrições ambientais, urbanísticas e legais, tais como a presença de áreas contaminadas, imóveis tombados e parâmetros de densidade construtiva. Para tanto, foram utilizados dados abertos provenientes de órgãos públicos, como a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e o portal Geosampa. Esses dados subsidiaram a estruturação da base cartográfica e a elaboração de mapas temáticos.

Originalidade/relevância - A originalidade deste trabalho reside na sistematização do processo de escolha de terrenos e traçados para linhas de metrô, etapa de projeto de linhas metroviárias, utilizando uma abordagem baseada em SIG.

Resultados - Como resultado da aplicação do método proposto, foram gerados mapas temáticos organizados por categorias relacionadas à seleção de terrenos para implantação de estações e ao desenvolvimento do traçado das vias metroviárias. Esses produtos configuram-se como uma ferramenta de apoio ao planejamento e à concepção de projetos de linhas metroviárias.

Contribuições teóricas/metodológicas - Ao integrar diferentes fontes de dados geográficos e técnicas de mapeamento de restrições, o estudo oferece uma ferramenta replicável para o planejamento e projeto de infraestrutura urbana, contribuindo para a inovação em projetos de transportes públicos subterrâneos em grandes centros urbanos.

Contribuições sociais e ambientais - A metodologia contribui para a transparência no planejamento, a redução de impactos socioambientais e a ampliação do acesso equitativo à mobilidade urbana.

PALAVRAS-CHAVE: Linhas Metroviárias; Geoprocessamento; Projeto de Infraestrutura.

Development of a Framework for the Systematization of Metro Line Projects

ABSTRACT

Objective – This study aims to systematize the design processes of metro lines using Geographic Information Systems (GIS), through the development of a digital cartographic database based on public data sources, in order to support decision-making in the planning of metro lines in the city of São Paulo.

Methodology – The methodology is based on the application of geoprocessing techniques to map environmental, urban, and legal constraints, such as the presence of contaminated areas, heritage-listed buildings, and building density parameters. Open data from public agencies, such as the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB) and the Geosampa platform, were used to structure the database and generate thematic maps.

Originality/Relevance – The originality of this work lies in the systematization of site and route selection processes for metro lines through a GIS-based approach, contributing to a key phase in the design of underground transportation infrastructure.

Results – As a result of the proposed method, thematic maps were produced, organized into categories related to station location and metro line routing. These outputs serve as support tools for the planning and preliminary design of metro line projects.

Theoretical/methodological contributions – By integrating multiple geospatial data sources and constraint mapping techniques, this study offers a replicable tool for urban infrastructure planning, contributing to innovation in the design of underground public transportation systems in large urban centers.

Social and environmental contributions – The methodology contributes to planning transparency, reduction of socio-environmental impacts, and the expansion of equitable access to urban mobility.

KEYWORDS: Metro Lines; Geoprocessing; Infrastructure Design.

Elaboración de una base para la sistematización de proyectos de líneas de metro

RESUMEN

Objetivo – Este trabajo tiene como objetivo sistematizar los procesos de diseño de líneas de metro mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), a partir de una base cartográfica digital construida con datos públicos, que pueda orientar la toma de decisiones en la planificación de líneas de metro en la ciudad de São Paulo.

Metodología – La metodología se basa en la aplicación de técnicas de geoprocésamiento para el mapeo de restricciones ambientales, urbanísticas y legales, tales como la presencia de áreas contaminadas, edificaciones protegidas y parámetros de densidad constructiva. Se utilizaron datos abiertos provenientes de organismos públicos, como la Compañía Ambiental del Estado de São Paulo (CETESB) y la plataforma Geosampa, que permitieron estructurar la base cartográfica y elaborar mapas temáticos.

Originalidad/relevancia – La originalidad de este estudio reside en la sistematización del proceso de selección de terrenos y trazados para líneas de metro, etapa clave del proyecto de infraestructura subterránea, mediante un enfoque basado en SIG.

Resultados – Como resultado de la aplicación del método propuesto, se generaron mapas temáticos organizados en categorías relacionadas con la elección de terrenos para la implantación de estaciones y el desarrollo del trazado de las vías. Estos productos funcionan como herramientas de apoyo para la planificación y el diseño preliminar de proyectos de líneas de metro.

Contribuciones Teóricas/Metodológicas – Al integrar distintas fuentes de datos geoespaciales y técnicas de mapeo de restricciones, el estudio ofrece una herramienta replicable para la planificación y diseño de infraestructura urbana, contribuyendo a la innovación en proyectos de transporte público subterráneo en grandes centros urbanos.

Contribuciones Sociales y Ambientales – La metodología contribuye a la transparencia en la planificación, a la reducción de impactos socioambientales y a la ampliación del acceso equitativo a la movilidad urbana.

PALABRAS CLAVE: Líneas de Metro; Geoprocésamiento; Diseño de Infraestructura.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo criar uma base cartográfica digital a partir de dados públicos, com informações que auxiliem o projeto de linhas de metrô em São Paulo, além de registrar o método adotado para replicação em situações semelhantes. O estudo faz parte de uma pesquisa que busca sistematizar procedimentos projetuais contemporâneos de linhas de metrô subterrâneas de alta capacidade na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), dentro do arcabouço legal vigente.

Apresentaremos brevemente o processo de projeto desta infraestrutura para compreensão da inserção do processo proposto.

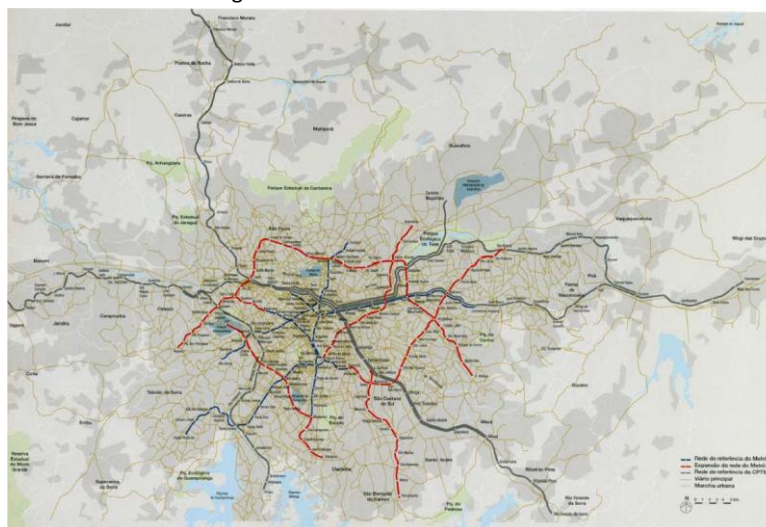
1.1 Etapas de projetos metroviários

Diante da complexidade de desenvolver um projeto de transporte metroviário, sua elaboração é dividida em diversas etapas. No caso da RMSP, a Companhia do Metropolitano de São Paulo (CMSP) é responsável pela definição da rede de Metrô. O processo começa com a pesquisa "Origem Destino" (OD), realizada a cada 10 anos para avaliar a demanda de transporte. Com base na OD, é elaborada e revisada a "Rede Futura" (figura 1), que define as novas linhas a serem desenvolvidas.

O próximo passo é o "Projeto Funcional", que avança em termos técnicos, como definição de demanda, veículos, método construtivo, definição de carregamento, demanda de passageiros estação a estação, *headway*¹, veículo adotado, suporte de via (túnel, elevada, de superfície etc.), terrenos a serem implantadas as unidades construtivas afloradas, método construtivo adotado para estações e túneis e diretrizes de sistemas eletromecânicos. A partir desse projeto, é elaborado o Projeto Básico, que inclui o orçamento da obra, e, por fim, o Projeto Executivo, com detalhes para a execução.

¹ *Headway* é o intervalo de tempo entre os trens no horário de pico, medida que se relaciona diretamente com o carregamento da linha.

Figura 1- Rede Futura: o PITU-2020.



Fonte: Companhia do Metropolitano de São Paulo (2006)

1.2 O estado da arte do projeto de metrô em São Paulo

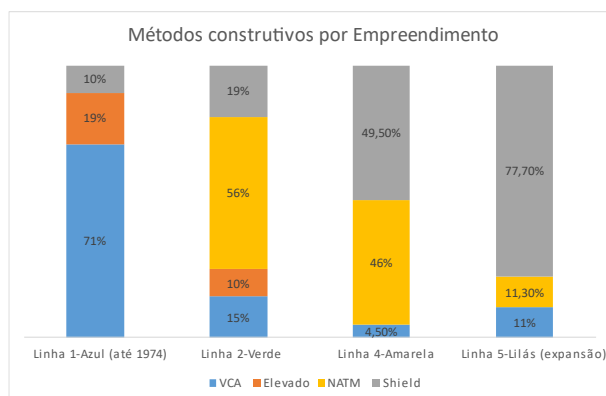
Ao longo dos seus mais de 50 anos de existência, a CMSP acumulou experiências de projeto e construção de linhas e trechos de linhas de metrô de diferentes formas. Considerando apenas o método construtivo para suporte da via, podemos enumerar desde o primeiro trecho em vala a céu aberto entre as estações Jabaquara e Liberdade na Linha 1 –Azul, passando pelo primeiro trecho feito com tuneladora² e pelo trecho suspenso na mesma linha, linha de superfície na Linha 3- Vermelha.

A análise das características geográficas das áreas da RMSP e das tendências construtivas adotadas pela CMSP ao longo do tempo permite identificar padrões para futuras linhas. O suporte das vias é o principal fator definidor, e, devido à redução de áreas urbanas adequadas para linhas de superfície e elevadas, além das críticas aos seus impactos urbanos, a tendência clara é o uso de vias subterrâneas.

Entre os métodos de construção subterrânea, o uso de valas a céu aberto (VCA) tem se tornado cada vez menos viável, pois exige terrenos com relevo compatível ao greide da via e escavações não muito profundas, além de grandes interdições por longos períodos. Assim, a construção de longos trechos em VCA é cada vez mais rara. Em relação aos túneis, há uma clara tendência na adoção de tuneladoras (TBMs), como mostrado no Gráfico 1, que apresenta os empreendimentos subterrâneos da CMSP em ordem cronológica.

2 Tuneladora: equipamento que faz a escavação de túneis e executa seu revestimento.

Gráfico 1- Métodos construtivos por empreendimento metroviário desenvolvido pela CMSP, considerando as linhas predominantemente subterrâneas (não foi considerada a Linha 3- vermelha, predominantemente em superfície, o trecho elevado da linha 5- Lilás, construído pela CPTM e os monotrilhos elevados).



Fonte: Gabarra (2016).

Outra tendência é a padronização de estações. Em 2020, a CMSP estabeleceu a meta de elaborar estações padronizadas para uso em situações típicas. Essa padronização é adequada para a maioria das estações subterrâneas que não fazem conexão com outras linhas (figura 2), como demonstrado na expansão da Linha 5 – Lilás (Gabarra, 2016). Esses projetos tipificados estão sendo aplicados em futuras linhas, como a Linha 19 – Celeste, cujo projeto básico foi concluído em 2024. Os projetos padrão oferecem soluções para diferentes profundidades, demanda de passageiros e terrenos, permitindo customizações superficiais para integração com a malha urbana. A padronização oferece previsibilidade nas dimensões de terrenos necessário para implantação de estações, que é útil para estabelecer processos de projeto como o proposto neste estudo. Algumas outras definições também conferem padrões que não devem ser alterados drasticamente e podem ser considerados como parâmetros de projeto, como raios de curva e greide.

Figura 2 – Croqui de cortes típicos de estações padronizadas rasas (em VCA) e profundas (com plataforma em túnel convencional³NATM), com linha tracejada vermelha representado limite entre trecho padroniza profundo e customização com a superfície.



Fonte: Gabarra, 2016.

3 Túnel convencional: escavado/construído sem o uso de tuneladora.

1.3 SIG no planejamento e projeto de infraestrutura de transporte

Este trabalho se alinha com uma crescente tendência na área de planejamento urbano e de infraestrutura de transportes que reconhece o Sistema de Informações Geográficas (SIG) como uma ferramenta fundamental para a análise espacial e a tomada de decisões (Filho; Lopes, 2018).

O SIG é uma tecnologia desenvolvida para a análise e gestão de dados espaciais, o que o diferencia de outros sistemas de informação. Essencialmente, ele representa a realidade por meio de um modelo abstrato que inclui objetos georreferenciados com atributos não espaciais adicionais (Olivatto et al., 2024).

O SIG pode ser definido como um sistema informatizado que permite a coleta, entrada, armazenamento, manipulação, análise, representação e saída de dados espaciais e não espaciais, atendendo às necessidades dos usuários no contexto da tomada de decisão (Álvarez; Gonçalves, 2023). Estudos recentes já demonstram sua aplicação em iniciativas como a priorização de áreas para renovação urbana e a classificação de zonas para implantação de estações de metrô (Álvarez; Gonçalves, 2023; Ma et al., 2022). Essa capacidade multifuncional torna o SIG particularmente útil em projetos complexos como a expansão de sistemas de metrô (Álvarez; Gonçalves, 2023).

A utilização de bases de dados públicas para auxiliar na escolha de áreas para desapropriação e traçado — considerando custos, áreas densamente construídas e áreas contaminadas — reflete a aplicação prática do SIG no planejamento espacial (Dias; Oliveira, 2021).

O SIG permite o mapeamento e a modelagem territorial, possibilitando a sobreposição de diferentes camadas de informação (custos, densidade populacional, dados ambientais) para identificar áreas mais adequadas para intervenção e otimizar o traçado de infraestruturas (Liberti; Nucci, 2018). A adoção do SIG no planejamento de transportes, especialmente por meio de ferramentas de código aberto, também pode contribuir para a transparência, a democratização e a participação pública nos processos decisórios das políticas do setor (Lovelace, 2021).

A proposta de utilização do SIG para a melhoria da gestão e do planejamento da infraestrutura urbana por parte das autoridades públicas (Soule; Bueno, 2021), quando aplicada em situações práticas de projeto, possibilita ainda sua integração, em fases posteriores, com outras tecnologias voltadas ao projeto de edificações. Essa convergência entre diferentes métodos baseados em computação vem sendo identificada pelo acrônimo CGB, que combina as iniciais de CAD, GIS e BIM — uma tendência emergente na abordagem de planejamento em escala urbana (Olivatto et al., 2024), embora essa integração ainda enfrente desafios técnicos e metodológicos (Chen et al., 2024). A adoção prática do CGB no âmbito do projeto metroviário é discutida por Dong et al. (2020), que exploram sua aplicação em projetos geotécnicos de grande escala. D'Amico et al. (2020), por sua vez, analisam os benefícios da integração entre dados geoespaciais (SIG) e modelos BIM, destacando como essa convergência pode contribuir para uma abordagem de projeto mais eficiente, integrada e orientada por dados, especialmente no contexto das infraestruturas de transporte. Essa perspectiva reforça o potencial de

reaproveitamento das bases desenvolvidas neste trabalho em etapas subsequentes do ciclo de projeto.

2 Objetivos: sistematização de projetos de linhas metroviárias

Este trabalho tem como objetivo geral estruturar e relacionar os processos envolvidos nos projetos de linhas metroviárias, direcionar tomadas de decisão, garantindo o fluxo de projeto até sua conclusão.

Com base nos parâmetros frutos da experiência acumuladas pela CMSP, o trabalho tem como objetivo específico identificar estas relações entre processos, as tomadas de decisões e suas respectivas respostas típicas.

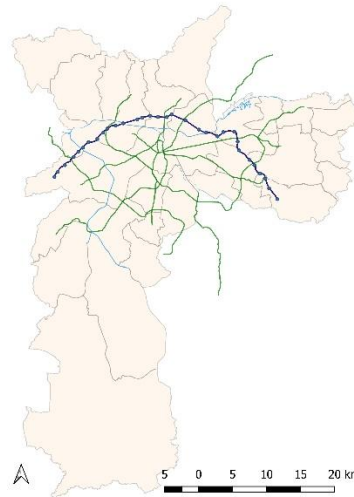
Como resultado esperado, este trabalho busca elaborar mapas que sintetizam restrições identificadas que municiem e direcionem tomadas de decisão relativas à escolha de terrenos de estações e desenvolvimento do traçado, o que consequentemente afetará também a escolha do túnel e sua respectiva tuneladora, baseado em restrições que vem sendo consideradas neste tipo de projeto.

3 ESTUDO DE CASO, MATERIAIS E MEIOS

Para o desenvolvimento deste trabalho iremos usar o material de um dos estudos de Rede Futura desenvolvidos pela CMSP, a Rede Azul, publicada no ano de 2006 com as linhas prioritárias a serem construídas no médio prazo na RMSP (Companhia do Metropolitano de São Paulo, 2006), de onde escolhemos a Linha Arco Norte para nosso estudo de caso (figura 3).

Escolhemos esta linha por se tratar de uma linha de grande extensão (se construída terá mais de 40km de extensão), o que oferece um desafio de abrangência do estudo, embora se encontre totalmente no município de São Paulo, de onde usaremos parte das bases digitais. Esta linha também possui algumas características inéditas na malha paulista, como possuir conformação perimetral, em detrimento da característica radial presente na maior parte das linhas implantadas atualmente.

Figura 3. Mapa do município de São Paulo e Rede Azul.



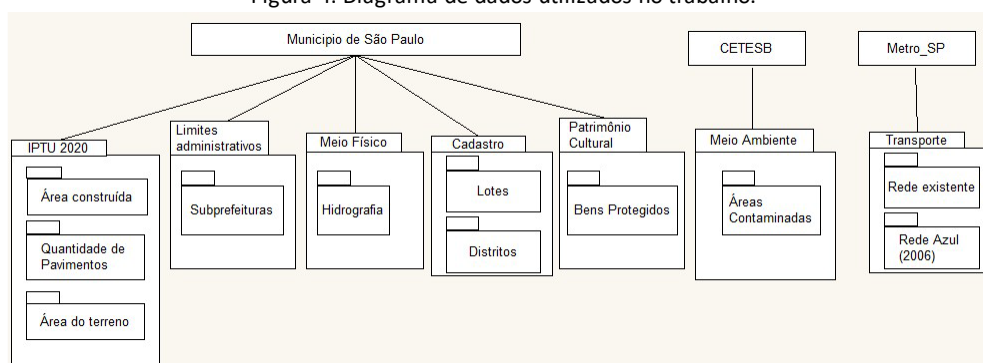
Fonte: Elaboração própria a partir de Lisboa (2019).

O recorte deste trabalho foca na transição do Estudo de Rede para o Projeto Funcional na expansão do sistema metroriário. É nesse estágio que são tomadas decisões importantes, como o método construtivo para estações e túneis e definição de profundidades.

Utilizaremos o geoprocessamento para mapear restrições com base em dados públicos disponíveis. O mapeamento será dividido em dois temas principais: um focado na escolha de terrenos e outro no desenvolvimento do traçado, com subtemas específicos em cada área.

Os dados que compõe a base usada no trabalho (figura 4) são oriundos de arquivos do Município de São Paulo, obtidos por meio do portal Geosampa, arquivos da CETESB obtidos por meio do portal DataGEO e traçado de linhas da rede futura da CMSP (2006).

Figura 4. Diagrama de dados utilizados no trabalho.



Fonte: elaboração própria.

3.1 Meios de coleta e tratamento de dados

Para coletar e tratar os dados foram usados sistema Windows 10 Pro (64 bits) e Software para geoprocessamento QGIS versão 3.16.5-Hannover.

3.2 Métodos aplicados

A partir do conhecimento da técnica construtiva e legislação incidente para construção de linhas e estações metroviárias, foi criada estratégia de geoprocessamento para mapeamento de restrições a partir da base de dados públicos digitais de SIG. Diferentes aspectos são analisados para cenários de implantação de estações e traçado de via.

3.2.1 Mapeamento de restrições para escolha de terrenos para estações

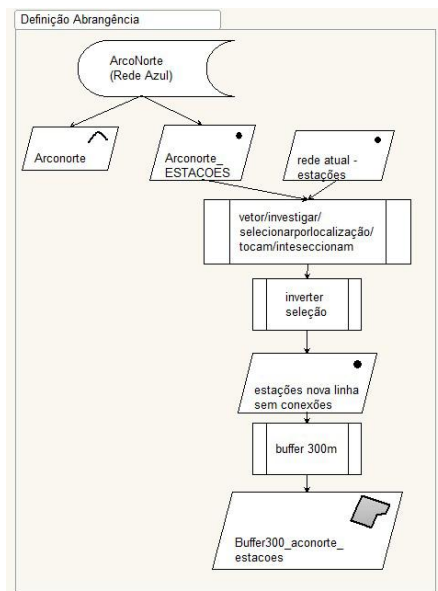
O mapeamento de restrições para escolha de terrenos para desapropriação para construção de estações se apoia em situações a serem evitadas na escolha de terrenos identificadas nos projetos de metrô, que podem ser levantadas nos bancos de dados públicos disponíveis, criando, desta forma, parâmetros:

- a- Densidade construtiva, pois as benfeitorias nos terrenos precisam ser ressarcidas pelo estado na desapropriação elevando seu custo;
- b- Áreas contaminadas, que podem encarecer a obra, cuja destinação da terra escavada passa a ter custos adicionais bem como eventuais remediações/tratamentos, que podem trazer impactos de custo e cronograma;
- c- Imóveis tombados, que devem ser preservados, desta forma devem ser mapeados e evitados.

3.2.1.1 Definição da área de abrangência do mapeamento

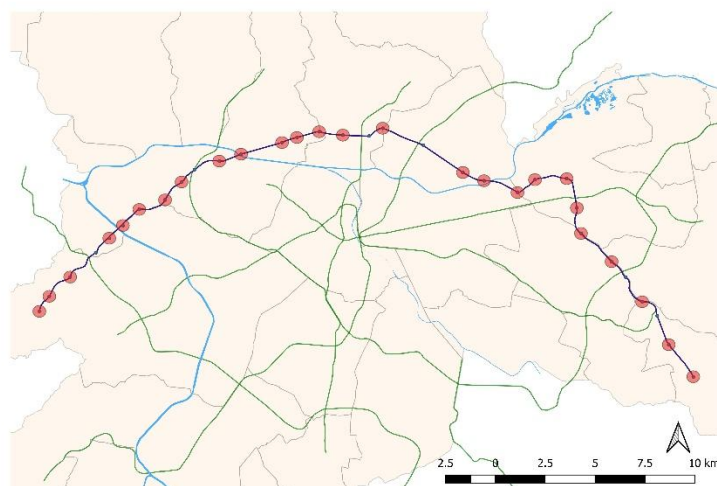
O primeiro passo para definir a abrangência do mapeamento é excluir as estações de conexão com outras linhas, já que sua localização é dependente da estação existente, exigindo critérios específicos. Para as estações de "meio de linha", que não fazem conexão, foi estabelecido um raio de 300 metros ao redor do ponto sugerido pelo Estudo de Rede para a localização da estação. No geoprocessamento, utilizamos dados do traçado da rede futura, da linha Arco Norte e dos pontos das estações dessa linha. Excluídas as estações de conexão, selecionamos as demais e aplicamos um "buffer" de 300m, definindo a área de abrangência do estudo (figura 5). A figura 6 apresenta o mapeamento resultante dessa área.

Figura 5. Diagrama com operações para definição de abrangência do mapeamento de restrições para implantação de estações.



Fonte: elaboração própria.

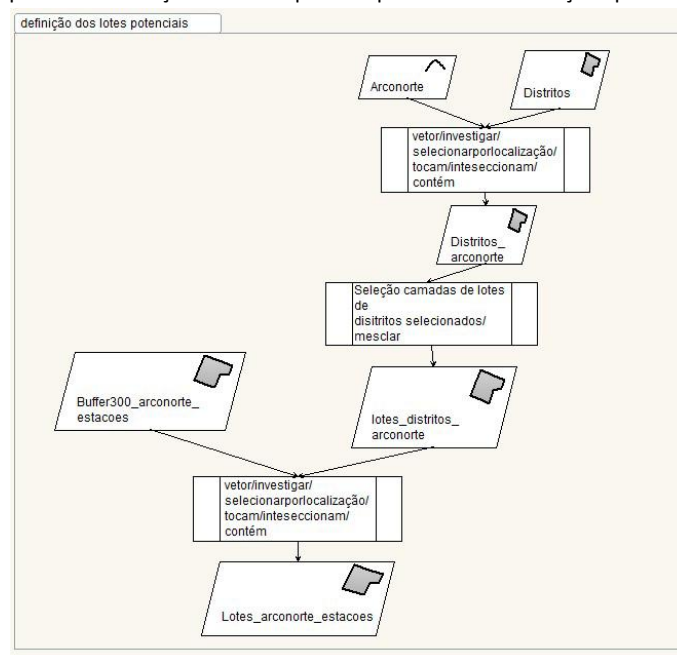
Figura 6. Mapa da Rede Azul (CMSP, 2006) com linha Arco Norte em destaque na cor azul e área de abrangência do estudo.



Fonte: elaboração própria.

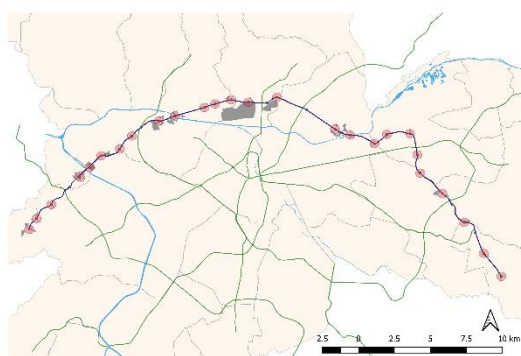
Como o objetivo é a escolha de terrenos para uso na construção de estações, a plataforma de estudo são os lotes. Desta forma, a preparação da base passa pela seleção dos lotes da região de estudos. Como os arquivos de lotes são separados por distritos, foi feita a operação de seleção de distritos, carregadas as camadas referentes aos lotes dos distritos selecionados e selecionados os lotes dentro da abrangência da busca por terrenos das estações, com processo descrito no diagrama apresentado na figura 7 e mapa base para estudo apresentado na figura 8 com destaque da estação Amador Bueno.

Figura 7. Diagrama para determinação dos lotes para mapeamento de restrições para instalação de estação.



Fonte: elaboração própria.

Figura 8- Mapa com linha Arco Norte e lotes com para mapeamento de restrições para instalar estações com a estação Amador Bueno em destaque (à esquerda) e detalhe área com diâmetro aproximado de 600 m com lotes potenciais para a instalação da estação Amador Bueno da linha Arco Norte (à direita).

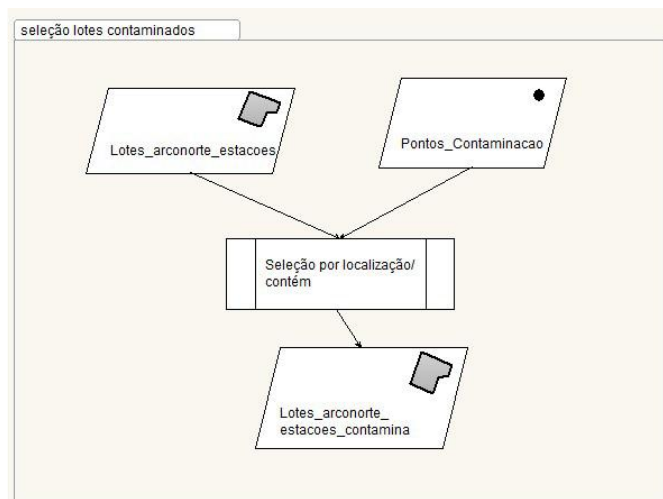


Fonte: elaboração própria.

3.2.1.2 Verificação de áreas contaminadas

A primeira restrição a ser verificada no mapa base produzido conforme processo descrito anteriormente é a existência de pontos de contaminação e marcação de lotes nesta situação. Para isso foi usado o arquivo de pontos de áreas contaminadas elaborado pela CETESB, e a seleção dos lotes selecionadas na área de abrangência que contêm estes pontos (figura 9).

Figura 9. Diagrama com operação para obtenção de arquivo de lotes com solo contaminado dentro da área de potenciais terrenos para instalação de estação.



Fonte: elaboração própria.

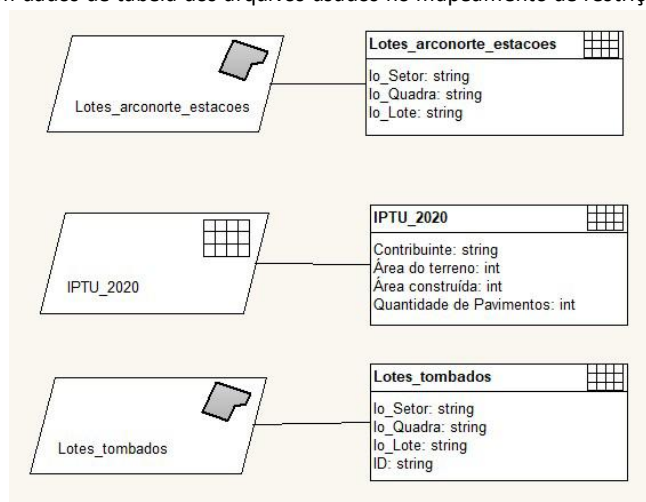
3.1.1.3 Verificação de densidade construtiva e imóveis tombados

Para este processo algumas operações se beneficiam de dados de tabelas dos arquivos usados.

Os arquivos e dados usados de tabelas são (figura 10):

- Setor, quadra, lote do arquivo de Lotes;
- Número do contribuinte, área construída, área do terreno e quantidade de andares, do arquivo de IPTU do ano de 2020;
- Setor, quadra, lote e ID do arquivo de lotes tombados.

Figura 10. Diagrama com dados de tabela dos arquivos usados no mapeamento de restrição de lotes para estações.



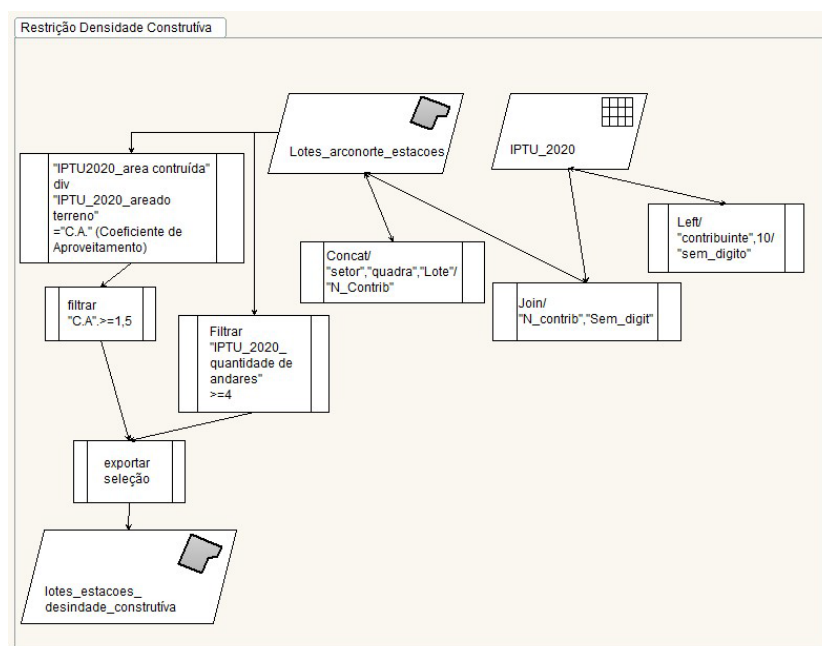
Fonte: elaboração própria.

Para determinação de densidade construtiva impeditiva foi arbitrado o valor maior ou igual a 1,5 para o coeficiente de aproveitamento (C.A.) e/ou 4 ou mais andares.

Para a obtenção do valor de C.A. no lotes_arconorte_estacoes (que tem as planilhas provenientes das representações de lotes da PMSP do Geosampa), é necessário unir alguns dados da planilha de IPTU ao shapefile de lotes. Para isso é necessário criar uma coluna em comum nestes arquivos. Na tabela de lotes_arconorte_estacoes, é necessário concatenar os valores das colunas “lo_setor”, “lo_quadra” e “lo_lote”, para obter o número de contribuinte. Na Tabela de IPTU é preciso fazer uma operação “left” para extrair o dígito verificador do número do contribuinte e assim podemos unir as duas tabelas com um atributo em comum.

Após unida a tabela, criar o campo C.A. por meio da divisão da área construída pela área do terreno. Filtrar os valores maiores ou iguais a 1,5 para chegar ao limite estabelecido. Filtrar também a coluna com quantidade de andares igual ou superior a 4, e unir à seleção anterior. Exportar a seleção para obter “lotes_estacoes_densidade_construtiva”. A figura 11 traz as operações para o mapeamento de alta densidade construtiva.

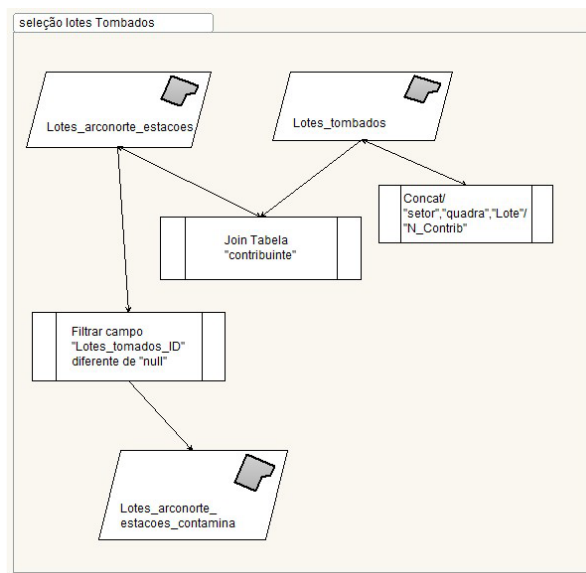
Figura 11. Operações para obtenção de lotes com densidade construtiva acima do valor estabelecido.



Fonte: elaboração própria.

Para a verificação de bens tombados também é necessário concatenar os valores de setor quadra, lote, obter o número de contribuinte de Lotes_tombados e unir através desta chave com Lotes_arconorte_estacoes, trazendo o campo ID para este arquivo. Filtrar este capo para valores diferentes de “null”. Unir esta seleção às seleções anteriores (ver figura 12).

Figura 12. Operações para obtenção de lotes contaminados na área de abrangência de lotes potenciais para instalação de estações.



Fonte: elaboração própria

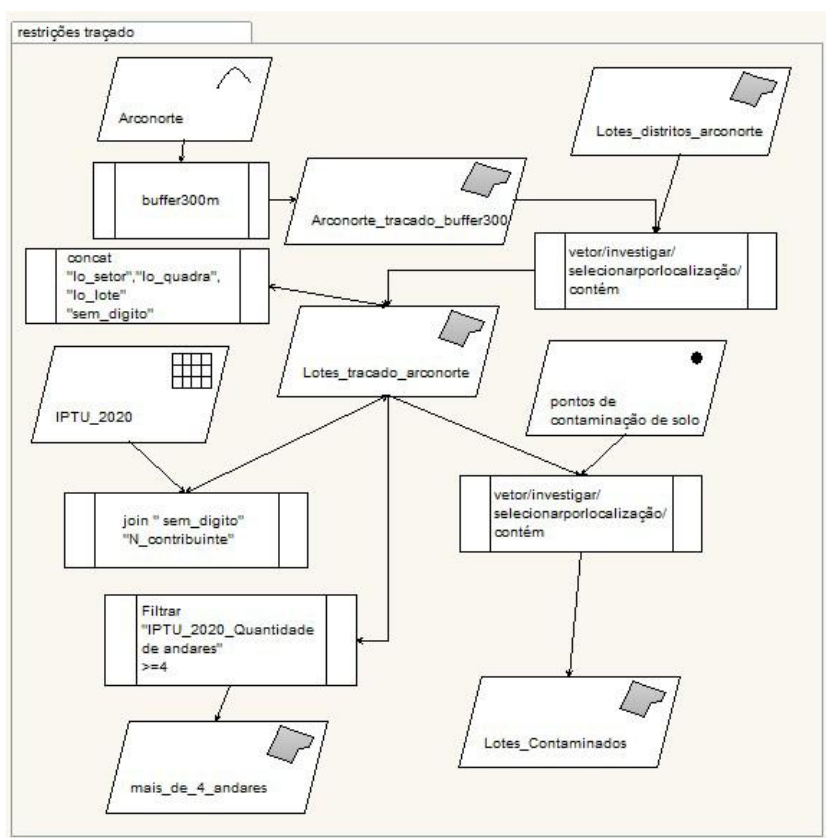
3.2.2 Mapeamento de restrições para estabelecimento de traçado de via/túnel

Para o traçado do túnel, são restrições recorrentes fundações de edificações. Este não é um tema que é considerado nos dados disponíveis, mas uma forma de abordá-lo, ainda que não de forma aprofundada, mas que pode oferecer uma abordagem inicial, é buscar edifícios de altura média e alta, que costumam possuir fundações profundas. Outra situação evitada é a escavação de solo contaminado, pelo motivo já abordado para estações.

O primeiro passo, novamente é a definição da abrangência. Como a linha já foi desenhada considerando raios aproximados aceitos em vias metroviárias, duas linhas paralelas distando 150 metros de cada lado do eixo original, totalizando uma faixa de 300m (um *buffer* de 300m) é suficiente para acomodar a via. Os lotes são selecionados dentro do território determinado por este buffer.

Para a filtragem de terrenos contaminados, é repetida a operação deste tema feita sobre o território definido para as estações, desta vez voltado para o território definido para o traçado, o "lotes_traçado_arconorte". Para a operação de filtragem dos lotes de edifícios de quatro ou mais andares, é aproveitado o arquivo de IPTU com coluna criada do número do contribuinte sem o dígito verificar para ser usado como chave para a união com os campos de setor quadra e lote concatenados do "lotes_traçado_arconorte", para, com as tabelas unidas, usar os valores de "IPTU_2020_quantidade de andares" para a filtragem de edifícios com quatro ou mais andares. As operações estão descritas no diagrama apresentado na figura 13.

Figura 13. Diagrama com operações para obtenção de restrições para desenvolvimento de traçado.



Fonte: elaboração própria.

4 RESULTADOS

Como forma de apresentação dos resultados, iremos separar por processo descrito nos métodos, primeiro com restrições voltadas para a implantação de estações, com um panorama geral da linha Arco Norte e uma aproximação na estação Amador Bueno e posteriormente para o traçado de túnel de via.

4.1 Restrições mapeadas no estudo de caso para implantação de estações

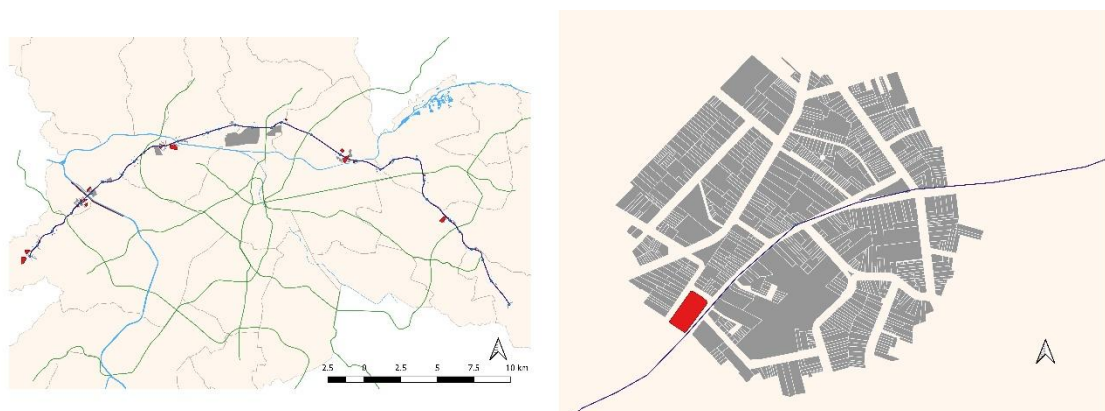
Como resultado do método proposto foram obtidos mapas apresentando lotes com restrições de áreas contaminadas, alta densidade construtiva e imóveis tombados em áreas com previsão de instalação de estações da Linha Arco Norte.

4.1.1 Áreas contaminadas

Foram localizados 48 Lotes com contaminação até 300m do foco de instalação da estação no estudo de caso, e foi gerado um arquivo específico com estas geometrias. Na figura

14 é possível ver o mapeamento de lotes contaminados em toda a linha, com foco na estação Amador Bueno à esquerda, com um lote contaminado.

Figura 14. Mapa da Linha Arco Norte com lotes com solo contaminados (em vermelho) à esquerda e detalhe da área com diâmetro aproximado de 600 m com lotes potenciais para a instalação da estação Amador com lote com solo contaminado, à direita.

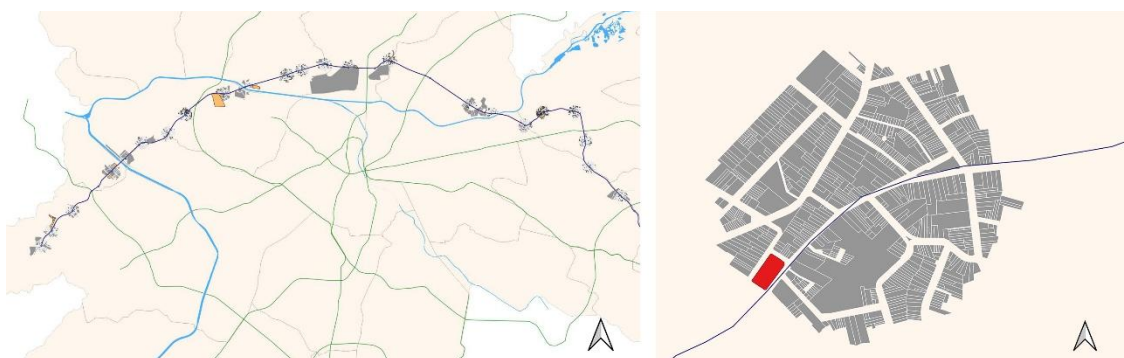


Fonte: Elaboração própria.

4.1.2 Densidade construtiva e imóveis tombados

Foram obtidos 1351 Lotes até com coeficiente de aproveitamento maior ou igual a 1,5 e/ou 4 ou mais andares e/ou tombados, como apresentado na linha completa à esquerda no recorte da estação Amador Bueno à direita da figura 15.

Figura 15. Lotes (em laranja) com densidade construtiva acima do limite estabelecido e imóveis tombados, à esquerda em toda a linha arco norte e à direita na região estuda da estação Amador Bueno.



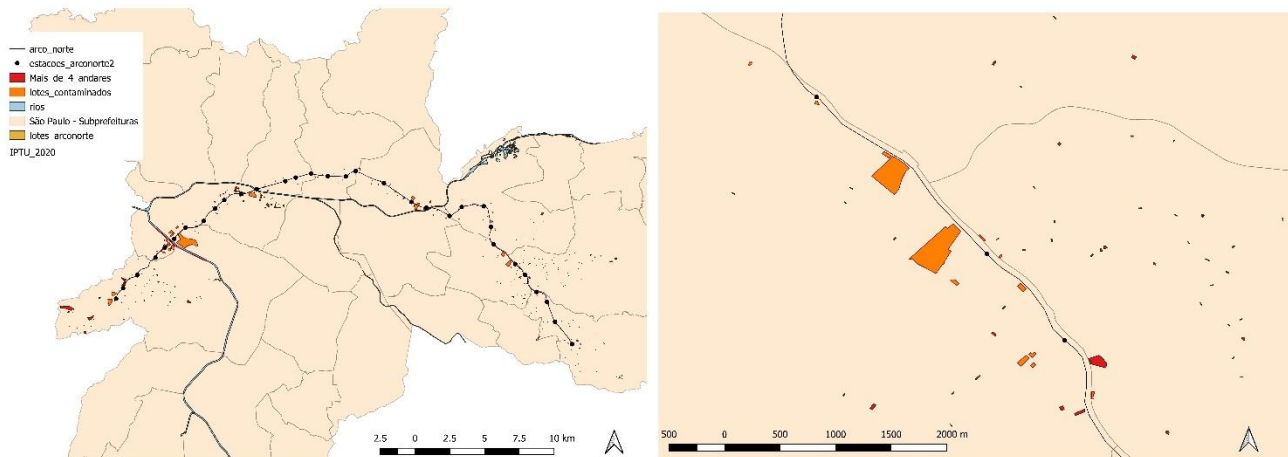
Fonte: elaboração própria

4.2 Traçado de via/túnel

Como resultado do método proposto para identificação de restrições para traçado de via no estudo de caso da linha Arco Norte, após filtragem, cujo método é descrito no item 3.2.2 e expõe terrenos contaminados e de possível fundação profunda em uma faixa de 300m de

largura ao longo do possível traçado da linha, obtemos os mapas apresentados na figura 16, com panorama geral à esquerda e trecho entre as estações Aricanduva e Vila Eulália em detalhe de lotes com restrição à direita.

Figura 16. Mapa com restrições para desenvolvimento de traçado (lotes em laranja) de toda a linha Arco Norte à esquerda e detalhe do trecho Aricanduva – Vila Eulália, à direita.



Fonte: elaboração própria.

5 CONCLUSÃO

Os mapas resultantes do geoprocessamento de dados públicos consolidam informações de grande utilidade na definição de terrenos para implantação de estações e para o estabelecimento preliminar de alternativas de traçado de linhas, sistematizando processos de projeto de linhas metroviárias subterrâneas escavadas com TBM.

Embora no âmbito da arquitetura e urbanismo seja mais comum a adoção de ferramentas de geoprocessamento e informações espaciais em atividades analíticas, no projeto de arquitetura e engenharia de infraestrutura estas ferramentas podem ser um importante aliado também para atividades propositivas. A cidade de São Paulo possui importante acervo de informações que possibilitam este uso, como demonstramos neste trabalho. Os dados disponibilizados pela CETESB no portal DataGEO também se mostram úteis, e possuem abrangência estadual.

Abordando o caso específico do projeto metroviário, é possível usar dados públicos na padronização de processos de eleição de terrenos para instalação de estações e definição de traçado de linha, o que representará uma etapa importante na sistematização dos processos que é proposta.

Análises interessantes podem ser feitas a partir do simples lançamento de informações do caso estudado, o Arco Norte, cuja linha é perimetral e é possível notar caráter diferente das restrições típicas enfrentadas em linhas radiais, predominantes no cenário atual paulistano, com mais edifício altos e densidade construtiva mais alta.

6 REFERÊNCIAS

- ÁLVAREZ, Randy Perea; GONÇALVES, Luciana Márcia. Spatial analysis for prioritizing areas for urban renewal projects in the city of Cali in Colombia. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 11, n. 84, 31 dez. 2023.
- CHEN, Limeng *et al.* Navigating urban complexity: The role of GIS in spatial planning and urban development. **Applied and Computational Engineering**, v. 65, n. 1, p. 282–287, 23 maio 2024.
- COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. **Rede Essencial - Trechos prioritários**. São Paulo: Companhia do Metropolitano de São Paulo, 2006.
- D'AMICO, Fabrizio *et al.* BIM And GIS Data Integration: A Novel Approach Of Technical/Environmental Decision-Making Process In Transport Infrastructure Design. **Transportation Research Procedia**, v. 45, p. 803–810, 2020.
- DIAS, Alvaro Jose; OLIVEIRA, João Paulo Leonardo de. CIM in the context of smart cities: how the interoperability between BIM and SIG can assist the development of smart cities. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 9, n. 70, 7 out. 2021.
- DONG, Lili *et al.* Visualization of Foundation Evaluation for Urban Rail Transit Based on CGB Technology Integration. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, v. 15, n. 4, p. 477–486, 18 jun. 2020.
- FILHO, German Gregorio Monterrosa Ayala; LOPES, Simone Becker. Sistemas de Informação Geográfica como ferramenta de planejamento de transportes em Joinville (SC). **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 6, n. 39, 18 jun. 2018.
- GABARRA, Murilo Macedo. **Industrialização e padronização para expansão da rede de Metrô de São Paulo**. Mestrado—São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo Universidade de São Paulo, 2016.
- LIBERTI, Eduardo; NUCCI, João Carlos. Carta da Qualidade Ambiental Urbana: questões técnicas no cruzamento digital das cartas de uso e de cobertura da terra na parte superior da bacia do rio Belém (Curitiba-PR). **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 6, n. 41, 13 dez. 2018.
- LISBÔA, Leonardo Cleber Lima. **Transporte de Londres, Paris e São Paulo: aspectos fundamentais do planejamento e expansão das redes de transporte estruturais e sua relação com a organização do tecido urbano**. Doutorado Direto em Planejamento Urbano e Regional—São Paulo: Universidade de São Paulo, 7 nov. 2019.
- LOVELACE, Robin. Open source tools for geographic analysis in transport planning. **Journal of Geographical Systems**, v. 23, n. 4, p. 547–578, out. 2021.
- MA, Jiexi *et al.* Node-place model extended by system support: Evaluation and classification of metro station areas in Tianfu new area of Chengdu. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, p. 990416, 19 set. 2022.
- OLIVATTO, Tatiane Ferreira *et al.* Integração da Modelagem da Informação e SIG em aplicações de mobilidade e transportes. **Revista de Arquitetura IMED**, v. 13, n. 1, p. 135, 24 dez. 2024.
- SOULE, Pedro Verissimo; BUENO, Cristiane. Integração de ferramentas BIM e SIG para gestão e manutenção de infraestrutura urbana. **Engenharia Urbana em Debate**, v. 2, n. 1, p. 24–35, 24 jun. 2021.

DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

- **Concepção e Design do Estudo:** Murilo Macedo Gabarra teve a ideia central do estudo e Helena Aparecida Ayoub Silva ajudou a definir os objetivos e a metodologia.
- **Curadoria de Dados:** Murilo Macedo Gabarra organizou e verificou os dados para garantir sua qualidade, que foi revisado por Helena Aparecida Ayoub Silva.
- **Análise Formal:** Murilo Macedo Gabarra realizou as análises dos dados, aplicando métodos específicos.
- **Aquisição de Financiamento:** não houve financiamento para o trabalho, que foi desenvolvido com recursos próprios dos autores.
- **Investigação:** Murilo Macedo Gabarra conduziu a coleta de dados ou experimentos práticos.
- **Metodologia:** Murilo Macedo Gabarra e Helena Aparecida Ayoub Silva desenvolveram e ajustaram as metodologias aplicadas no estudo.

- **Redação - Rascunho Inicial:** Murilo Macedo Gabarra escreveu a primeira versão do manuscrito.
- **Redação - Revisão Crítica:** Helena Aparecida Ayoub Silva revisou o texto, melhorando a clareza e a coerência.
- **Revisão e Edição Final:** Murilo Macedo Gabarra revisou e ajustou o manuscrito para garantir que atende às normas da revista.
- **Supervisão:** Helena Aparecida Ayoub Silva coordenou o trabalho e garantiu a qualidade geral do estudo.

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, Murilo Macedo Gabarra e Helena Aparecida Ayoub Silva, declaramos que o manuscrito intitulado "Elaboração de base para sistematização de projetos de linhas metroviárias":

1. **Vínculos Financeiros:** Não possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho. Nenhuma instituição ou entidade financiadora esteve envolvida no desenvolvimento deste estudo.
2. **Relações Profissionais:** Não possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados. Nenhuma relação profissional relevante ao conteúdo deste manuscrito foi estabelecida.
3. **Conflitos Pessoais:** Não possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito. Nenhum conflito pessoal relacionado ao conteúdo foi identificado.