



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

MARIA CECÍLIA ALVES DE ALMEIDA ROCHA

SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA  
COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: ESTUDO DE CASO EM ARACAJU  
(SE)

SÃO CRISTÓVÃO – SE

2026

MARIA CECÍLIA ALVES DE ALMEIDA ROCHA

SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA  
COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: ESTUDO DE CASO EM ARACAJU  
(SE)

Trabalho final apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Sergipe, como parte integrante dos requisitos para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio de Rezende Nascimento.

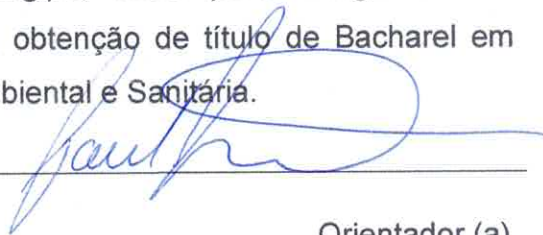
SÃO CRISTÓVÃO – SE

2026

MARIA CECÍLIA ALVES DE ALMEIDA ROCHA

SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA  
COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: ESTUDO DE CASO EM ARACAJU  
(SE)

Trabalho final apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Sergipe, como parte integrante dos requisitos para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

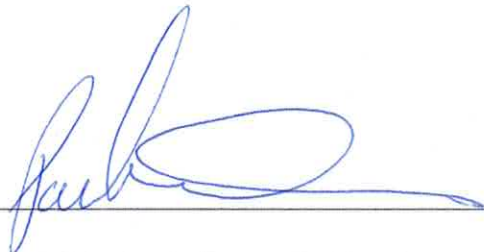


Orientador (a)

SÃO CRISTÓVÃO – SE

2026

Trabalho apresentado e aprovado em 12 de fevereiro de 2026 pelo Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Sergipe para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.



Prof. Dr. Paulo Sérgio de Rezende Nascimento

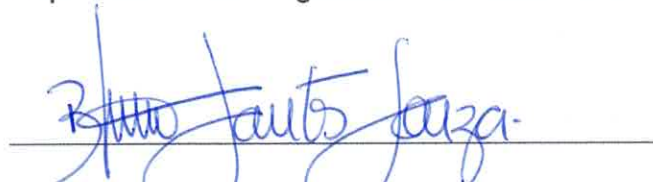
Orientador

**Banca Examinadora:**




Prof. Dr. Paulo Sérgio de Rezende Nascimento

Departamento de Engenharia Ambiental — UFS



Prof. Dr. Bruno Santos Souza

Departamento de Engenharia Ambiental — UFS



Dr. Glauber Vinícius Pinto de Barros

Engenheiro Ambiental e Sanitarista

# **Sistema de Informação Geográfica na Avaliação da Eficiência da Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Caso em Aracaju (SE)**

**Resumo:** A coleta de resíduos sólidos urbanos (RSU) constitui uma etapa crítica da gestão municipal, demandando planejamento logístico eficiente. Este estudo analisou a eficiência operacional e a redução de custos da coleta em três setores do município de Aracaju (SE), por meio da integração de dados de rastreamento por GPS com modelagem em Sistema de Informação Geográfica (SIG), fundamentada na teoria dos grafos e em procedimentos de map-matching. Foram avaliados os setores Suíssa, 13 de Julho e Centro, com distintas características urbanas, sendo o Setor Suíssa adotado como referência por apresentar maior regularidade operacional. Após tratamento e validação dos dados, as trajetórias reais foram reconstruídas e comparadas a rotas reorganizadas com base na conectividade da malha viária. Observou-se redução aproximada de 6,91 km por ciclo operacional nos setores Centro e 13 de Julho, com economia estimada de R\$ 22,30 por dia de coleta (cerca de R\$ 6.960,00 ao ano), além de diminuição de sobreposições de trajetos e melhoria nos indicadores km/ton e tempo/ton. Conclui-se que a metodologia aplicada mostrou-se eficaz, tecnicamente consistente e replicável, contribuindo para o aprimoramento do planejamento municipal da coleta de RSU.

**Palavras-Chave:** Roteirização de coleta de resíduo; Teoria dos Grafos; Gestão municipal.

## **INTRODUÇÃO**

O crescimento populacional, associado à intensificação do consumo e à expansão das áreas urbanas, tem resultado no aumento expressivo da geração de resíduos sólidos, pressionando a capacidade dos sistemas municipais de coleta, transporte e disposição final (Baetz, 1990; Kiran et al., 2023a). Esse cenário compromete a qualidade ambiental e intensifica os riscos à saúde pública, sobretudo da população mais vulnerável (Ghose; Dikshit; Sharma, 2006; Sulemana et al., 2018, Camões; Silva, 2023). O desafio de lidar com a crescente quantidade de resíduos evidencia a necessidade de estratégias integradas de gestão urbana que aliem a eficiência operacional e a sustentabilidade socioeconômica, podendo ser alcançada pela otimização de rotas baseada em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (Pascoal Júnior; Oliveira Filho, 2010; Siddam; Khadikar; Chitade, 2012; Bernardo; Lima, 2017; Silva et al., 2017; Sulemana et al., 2020; Kiran et al., 2023b).

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, representa um marco regulatório essencial na gestão integrada e gerenciamento dos resíduos sólidos (Brasil, 2010). A PNRS estabelece princípios, objetivos e instrumentos voltados à prevenção, redução, reutilização, reciclagem e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos, contribuindo para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) (Camões; Silva, 2023; Trigo et al, 2023; Santiago et al, 2023; Castro et al., 2024). Entre suas diretrizes, reforça-se a importância de planejar adequadamente a coleta e o transporte, etapas críticas da gestão que, quando mal executadas, resultam em sobrecarga financeira e degradação ambiental (Bernardo; Lima, 2017; Silva et al., 2020; Costa; Dias; Robaina, 2024).

A gestão de resíduos sólidos urbanos envolve um conjunto articulado de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento, que abrangem desde a geração e acondicionamento até a coleta, transporte, tratamento e disposição final (Silva et al. 2020; Benedicto et al., 2023; Kiran, 2023; Rebehy et al., 2024). A ausência de planejamento adequado em qualquer uma dessas etapas tende a aumentar os custos e a reduzir a eficiência do sistema (Kyessi; Mwakalinga, 2009; Rebehy et al., 2024). Dentre todas as fases, a coleta e o transporte são reconhecidos como os componentes mais onerosos, podendo representar entre 60% e 80% do orçamento destinado pelos municípios ao setor (Beliën; Boeck; Van Ackere, 2012; Siddam; Khadikar; Chitade, 2012). De acordo com os autores, os altos custos decorrem do uso intensivo de mão de obra e da operação de frotas, fatores que tornam imprescindível a racionalização dos processos.

Nesse contexto, o planejamento da coleta de resíduos sólidos urbanos assume papel central, pois trata-se de organizar a operação de forma a garantir eficiência no atendimento à demanda, evitando a sobreposição de percursos e o desperdício de recursos (Pascoal Júnior; Oliveira Filho, 2010; Siddam; Khadikar; Chitade, 2012; Sulemana et al., 2020). Um dos instrumentos mais relevantes para esse planejamento é a roteirização da coleta, definida como a elaboração das rotas em que os veículos devem percorrer para atender aos pontos de coleta, compatibilizando a capacidade dos caminhões com o tempo

de operação da frota (Beliën; Boeck; Van Ackere, 2012; Silva et al., 2017; Bernardo; Lima, 2017).

Como supra exposto, a definição robusta de itinerários dos caminhões coletores constitui etapa crucial na adequada roteirização de coleta. O itinerário corresponde ao percurso detalhado que o veículo deve realizar dentro de um setor, em determinado período, com o objetivo de transportar o maior volume de resíduos possível com o mínimo de trechos improdutivos (Pascoal Júnior; Oliveira Filho, 2010; Silva et al., 2017; Sulemana et al., 2020). Quando mal planejados, os itinerários resultam em sobreposição de trajetos, aumento da quilometragem percorrida, desperdício de combustível e desgaste da frota (Sulemana et al., 2020). Lima, Lima e Silva (2012) destacam que uma das dificuldades de roteirização é com relação às diferentes combinações de pontos de origem e destino, tornando o problema ainda mais complexo em ambientes urbanos, dada a multiplicidade de alternativas viáveis e as restrições de circulação. Cunha (2000) reforça que os problemas de roteirização urbana se diferenciam dos intermunicipais, por envolverem maior complexidade combinatória devido ao número de variáveis e restrições locais.

Nesse contexto, as funcionalidades de roteamento em SIG operam a partir da modelagem da rede viária como uma estrutura topológica formal. Essa estrutura é representada por um grafo composto por nós (vértices) e arestas (arcos), permitindo a abstração matemática da malha urbana e a análise de conectividade, continuidade e redundância dos percursos (Sherafat, 2013; Silva; Lins; Xavier, 2020). Assim, cada cruzamento é representado como nó, enquanto os segmentos viários assumem a forma de arestas direcionadas ou não direcionadas, conforme o regime de circulação.

A implementação das funções de roteamento em SIG se dá em uma estrutura de rede representada por um grafo, o qual é uma estrutura formada por arcos, arestas e nós (Sherafat, 2013; Silva; Lins; Xavier, 2020; Vilchez-Torres; Ramos-Castillo; Bobadilla-Asto, 2023; Hess et al., 2024). Assim, um segmento de rua pode ser representado por um arco (se a rua for de mão única), ou por uma aresta (se for de mão dupla) e um cruzamento de ruas é representado por um vértice, ou nó.

A rota é uma sequência apropriada de locais a serem atendimentos a partir da cobertura de todos os arcos (segmentos de ruas), tornando a coleta de resíduos sólidos economicamente viável (Sherafat, 2013). De acordo com Hess et al. (2024), todo o processo consiste em encontrar rotas com custo otimizado para caminhões de lixo, de forma que todas as lixeiras sejam esvaziadas e os resíduos sejam levados aos locais de descarte, respeitando as janelas de tempo dos clientes e garantindo que os funcionários tenham os intervalos exigidos por lei. Desta forma, a aplicação de SIG na análise de rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares, além da redução dos custos operacionais e aumento da eficiência, é uma ferramenta técnico-gerencial na tomada de decisão em políticas públicas (Brasileiro e Lacerda, 2008; Braga et al., 2008; Lima; Lima; Silva, 2012).

A presente pesquisa teve como objetivo analisar a eficiência logística e a redução dos custos do sistema de coleta de RSU no município de Aracaju, a partir da integração entre os dados brutos coletados por meio de rastreamento por GPS, e a modelagem dos itinerários por meio de SIG, fundamentada na teoria dos grafos.

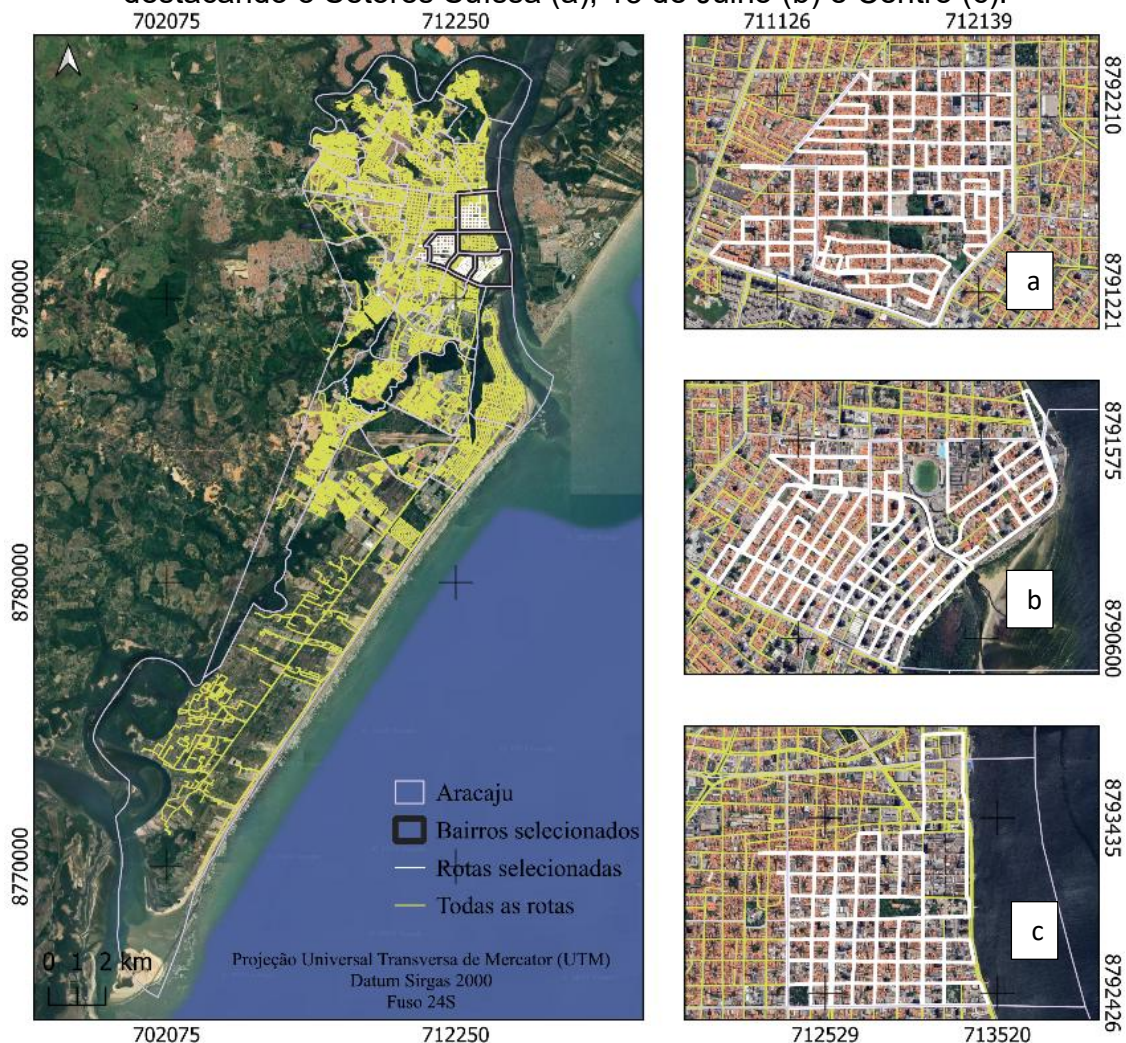
## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

A pesquisa foi realizada no município de Aracaju, capital do estado de Sergipe, localizado entre as coordenadas geográficas 10°55'00" e 11°05'00" de latitude Sul e 37°00'00" a 37°10'00" de longitude Oeste (Figura 1). O município possui aproximadamente 182 km<sup>2</sup>, uma população de 602.757 habitantes (IBGE, 2022), o que resulta em uma geração diária de 650 t/dia (Aracaju, 2025), composto por 40 bairros que apresentam características urbanas, comerciais e socioeconômicas distintas (Nunes; Nascimento, 2024).

Os procedimentos metodológicos adotados fundamentam-se em referenciais consolidados da literatura, especialmente nos trabalhos de Braga et al. (2008), Brasileiro e Lacerda (2008), Cunha (2000), Pascoal Júnior e Oliveira Filho (2010), Lima, Lima e Silva (2012), Bernardo e Lima (2017), Silva et al. (2017; 2020), Pena, Dias e Seabra (2022) e Silva, Nery e Simonetti (2023). A metodologia aplicada permitiu analisar a relação entre percursos, condicionantes

territoriais e eficiência dos roteiros, subsidiando recomendações para o aprimoramento do planejamento municipal.

Figura 1: Localização da área de estudo sobreposto às rotas de coleta de RSU, destacando o Setores Suíça (a), 13 de Julho (b) e Centro (c).



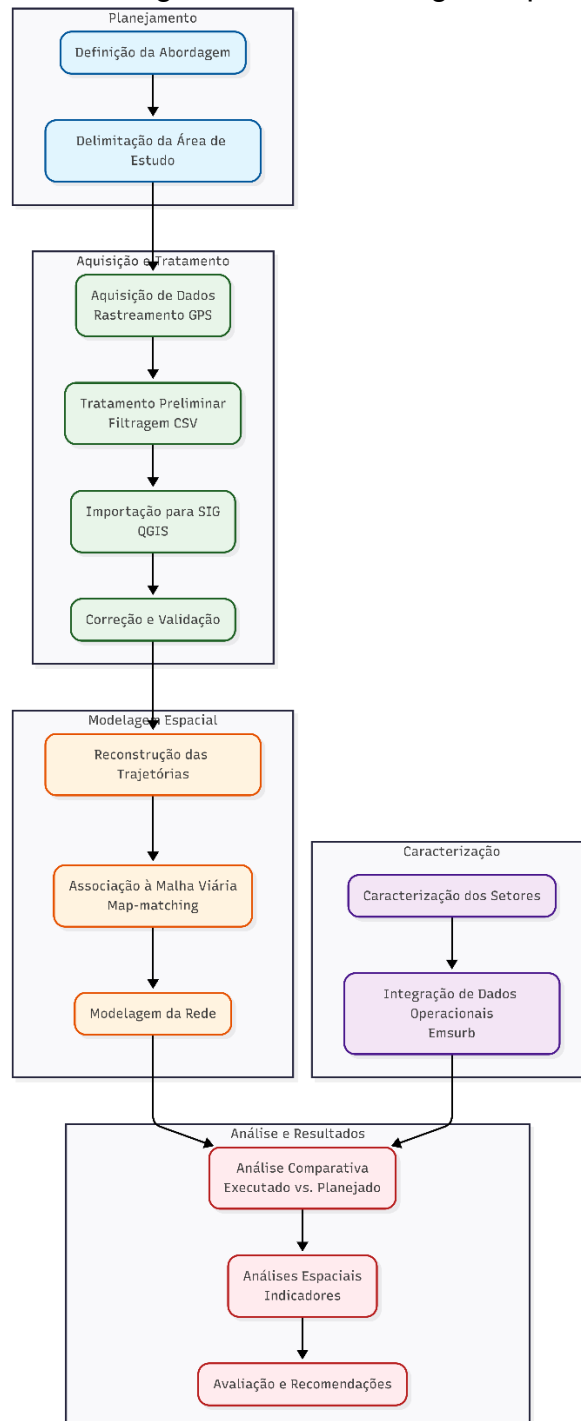
Fonte: Autora, 2026.

## 2.1 Definição da abordagem metodológica

A metodologia possui caráter descritivo, analítico e comparativo, fundamentando-se na integração de dados empíricos e de técnicas de análise espacial com os princípios da modelagem de redes de transporte em ambiente de SIG (Kyessi; Mwakalinga, 2009). Essa abordagem permite incorporar trajetórias reais de deslocamento à representação topológica da malha viária, possibilitando a avaliação da conectividade, a identificação de padrões de circulação e a análise de discrepâncias entre rotas planejadas e percursos efetivamente realizados (Graser; Straub; Dragaschnig, 2016).

A fim de explicitar de maneira sistemática a lógica operacional da pesquisa e assegurar transparência metodológica, o fluxograma apresentado na Figura 2 sintetiza as etapas que compõem o delineamento metodológico, contemplando desde a organização dos dados brutos até as análises espaciais em ambiente SIG.

Figura 2: Fluxograma da metodologia da pesquisa.



Fonte: Autora, 2026.

## **2.2 Delimitação da área de estudo**

O primeiro procedimento consistiu na definição e delimitação dos setores operacionais de coleta de resíduos sólidos urbanos domiciliares, considerando suas particularidades socioeconômicas, como proposto por Silva et al. (2020). Assim, foram selecionados três setores: o Setor 13 de Julho; o Setor Centro; e o Setor Suíssa.

O Setor Suíssa é composto predominantemente por áreas residenciais e foi adotado como setor padrão, por apresentar maior regularidade e eficiência no processo de coleta. O Setor 13 de Julho também possui caráter residencial, sendo associado a um nível socioeconômico mais elevado. Já o Setor Centro caracteriza-se pela predominância de atividades comerciais, o que influencia a dinâmica da geração e da coleta de resíduos.

## **2.3 Aquisição dos dados empíricos**

Os dados georreferenciados dos pontos de coleta urbana foram disponibilizados pela Empresa Municipal de Serviços Urbanos de Aracaju (Emsurb), em formato digital, provenientes do rastreamento diário dos caminhões compactadores. Esses registros foram gerados por receptores de Sistema de Posicionamento Global (GPS), instalados nos veículos.

O dispositivo realiza o registro automático contínuo e em tempo real das coordenadas geográficas (latitude e longitude), da data e do horário de cada ponto coletado, além de informações como a velocidade instantânea, o sentido de deslocamento e os eventos operacionais, tais como paradas e reinício de movimento. Dessa forma, é possível reconstruir com elevado nível de precisão a trajetória real percorrida pelos veículos nos setores selecionados, configurando um conjunto de dados robusto e confiável para análises logísticas (Sulemana et al., 2020).

## **2.4 Tratamento preliminar dos dados**

De posse desses os dados brutos foram filtrados para exclusão de registros fora do intervalo temporal da operação regular (antes das 5h e após as 18h), pontos com coordenadas nulas ou duplicadas e velocidades incompatíveis

com a operação (superiores a 80 km/h). Foram corrigidas inconsistências decorrentes de perda de sinal GPS, como saltos espaciais abruptos superiores a 200 m entre registros consecutivos. Os dados foram organizados por veículo, data e ordem cronológica, estruturados em formato CSV (CSV – comma-separated values). contendo os seguintes atributos: latitude, longitude, data, horário, velocidade instantânea e identificação do veículo. No contexto das análises geoespaciais, o formato CSV mostra-se especialmente adequado para a representação de dados pontuais, pois permite associar atributos descritivos às coordenadas geográficas, facilitando a elaboração de mapas, a realização de análises espaciais e o cruzamento de informações com outras camadas geográficas Quddus; Ochieng; Noland (2007).

## **2.5 Importação e estruturação em SIG**

De posse da planilha, os dados vetoriais contendo os pontos foram importados para um banco de dados geográficos (BDG) no software QGIS, versão 3.40.1. Os dados foram posicionados corretamente no espaço geográfico, empregando a base cartográfica da malha viária urbana de Aracaju complementada por imagens de satélite da plataforma Google Earth (Google Satellite), utilizadas como suporte à conferência visual, à detecção de distorções, à atualização espacial e à interpretação das feições urbanas (Smith, Goodchild e Longley, 2018).

## **2.6 Correção e validação dos dados espaciais**

Nessa etapa, dentro do ambiente SIG, eliminaram-se as inconsistências relacionadas à perda de sinal, tais como velocidades incompatíveis com a operação dos caminhões e coordenadas localizadas fora dos limites geográficos do município, bem como procedeu à remoção de registros duplicados e de erros de posicionamento. Foram preservados apenas os pontos válidos e as sequências temporais coerentes, assegurando a consistência e confiabilidade do conjunto de dados (Kyessi; Mwakalinga, 2007).

## **2.7 Reconstrução das trajetórias reais**

Em seguida, os dados pontuais foram convertidos em arquivos lineares representativos das rotas reais, isto é, trajetórias construídas a partir da conexão

sequencial dos registros conforme sua ordem temporal, possibilitando a visualização contínua e integrada do percurso realizado (Ghose; Dikshit; Sharma, 2006). As trajetórias resultantes foram sobrepostas à malha viária urbana, permitindo identificar com maior precisão os segmentos de via efetivamente percorridos pelos veículos em cada setor analisado. Esse procedimento também viabilizou uma comparação detalhada entre a rota real registrada pelos dispositivos de GPS e o planejamento operacional formal previsto pela Emsurb para cada área, favorecendo a identificação de desvios, sobreposições ou trechos improdutivos presentes na operação.

## **2.8 Associação à malha viária (Map-matching)**

A análise dos trajetos fundamentou-se na teoria dos grafos, representando a rede viária como um grafo composto por nós e arestas, o que viabilizou a avaliação da estrutura topológica e da complexidade dos roteiros nos setores analisados (Vilchez-Torres; Ramos-Castillo; Bobadilla-Asto, 2023). Os dados de GPS foram associados à rede por meio de procedimentos de map-matching, técnica que consiste em ajustar os pontos georreferenciados registrados pelos veículos aos segmentos reais da malha viária, reconstruindo o trajeto mais provável percorrido, reduzindo imprecisões espaciais, e permitindo a comparação entre os percursos realizados e as rotas ótimas estimadas, conforme a literatura de roteirização logística (Quddus; Ochieng; Noland, 2007).

## **2.9 Modelagem da rede viária**

Esse procedimento possibilitou a visualização das trajetórias, a realização de análises espaciais e a reconstrução dos roteiros efetivamente percorridos pelos caminhões. Adicionalmente, os atributos temporais e operacionais associados aos pontos de coleta como data, horário e velocidade instantânea foram utilizados como variáveis auxiliares na análise logística. A variável data permitiu a seleção de dias representativos de operação, evitando distorções associadas a eventos atípicos. O atributo horário possibilitou a identificação dos períodos de maior concentração de paradas e a análise da distribuição temporal da coleta ao longo do roteiro. A velocidade instantânea foi empregada como critério para a identificação de paradas operacionais, considerando valores próximos a zero como indicativos de coleta efetiva ou interrupções do

deslocamento. Esses atributos foram integrados às análises espaciais e subsidiaram a interpretação dos padrões operacionais observados nos setores analisados.

### **2.10 Caracterização dos setores analisados**

Considerando as diferenças estruturais e demográficas observadas, adotou-se uma abordagem comparativa entre os setores 13 de Julho, Centro e Suíssa, articulando variáveis relacionadas à morfologia urbana (tipo de malha viária, presença de vias de mão única e conectividade da rede), à densidade populacional, ao perfil de uso e ocupação do solo (predominância residencial ou comercial), ao volume diário de resíduos coletados (ton/dia), à extensão dos percursos (km), ao número de paradas operacionais e ao tempo médio por viagem. Essa integração teve como objetivo identificar padrões, contrastes e especificidades que influenciam diretamente a eficiência dos itinerários, além de subsidiar a avaliação do desempenho operacional do serviço e a formulação de recomendações voltadas ao aprimoramento do planejamento municipal.

### **2.11 Integração de dados operacionais complementares**

Complementarmente, foram utilizadas informações operacionais disponibilizadas pela Emsurb, como a frequência de coleta em cada setor, o volume médio de resíduos coletados por viagem e a média diária de toneladas. Também foram consideradas as características da logística de transporte, com destaque para a estrutura de transbordo empregada após a coleta e o subsequente deslocamento até o aterro sanitário. Essas informações possibilitam contextualizar a operação de coleta no município e forneceram subsídios fundamentais para a análise comparativa da eficiência dos roteiros operacionais.

### **2.12 Análise comparativa dos roteiros**

A análise comparativa dos roteiros de coleta de resíduos sólidos urbanos foi realizada por meio da sobreposição entre os percursos executados pela Emsurb, com base em dados de rastreamento por GPS e o percurso otimizado e proposto nesse trabalho. Essa comparação permitiu avaliar a aderência do planejamento à operação em campo e identificar ineficiências logísticas. A

comparação considerou a identificação de desvios operacionais, sobreposições de trajetos e trechos improdutivos. Para fins metodológicos, definiu-se como trecho improdutivo todo segmento viário percorrido sem registro de parada operacional associada à coleta, caracterizado por: ausência de velocidade próxima a zero; inexistência de permanência superior a 30 segundos no ponto; e repetição de passagem no mesmo segmento dentro do mesmo ciclo operacional sem justificativa operacional. Essa definição permitiu quantificar objetivamente deslocamentos redundantes. A rota atualizada foi gerada a partir da reorganização sequencial dos segmentos efetivamente percorridos, considerando: conectividade da rede viária modelada como grafo; eliminação de retornos redundantes identificados na análise de sobreposição espacial; reorganização do sentido de atendimento conforme hierarquia viária; e manutenção das restrições operacionais reais (vias de mão única e áreas de circulação restrita). Não foi aplicado algoritmo matemático clássico de otimização, caracterizando-se como reorganização espacial assistida por SIG.

### **2.13 Análises espaciais e interpretação dos resultados**

As análises espaciais foram conduzidas com o objetivo de caracterizar o desempenho operacional da coleta de RSU a partir de indicadores logísticos associados à organização territorial dos setores estudados. Foram considerados, nesta etapa, a frequência de coleta, o volume médio por viagem, a tonelage diária estimada e a logística de transbordo. Destaca-se, que o deslocamento até o aterro não foi considerado na análise devido a não ser da competência do Emsurb. Esses parâmetros foram analisados de forma integrada, buscando compreender a relação entre a configuração espacial dos setores, a dinâmica urbana e a organização operacional do serviço de coleta.

### **2.14 Avaliação da eficiência e proposição de recomendações**

A avaliação da eficiência logística foi estruturada a partir da análise conjunta dos indicadores operacionais e espaciais considerados neste estudo, visando caracterizar o desempenho dos setores de coleta de resíduos sólidos urbanos. Com base nessa avaliação, foram elaborados subsídios técnicos para o planejamento municipal da coleta de RSU, orientados à formulação de recomendações operacionais. As proposições buscam contribuir para o

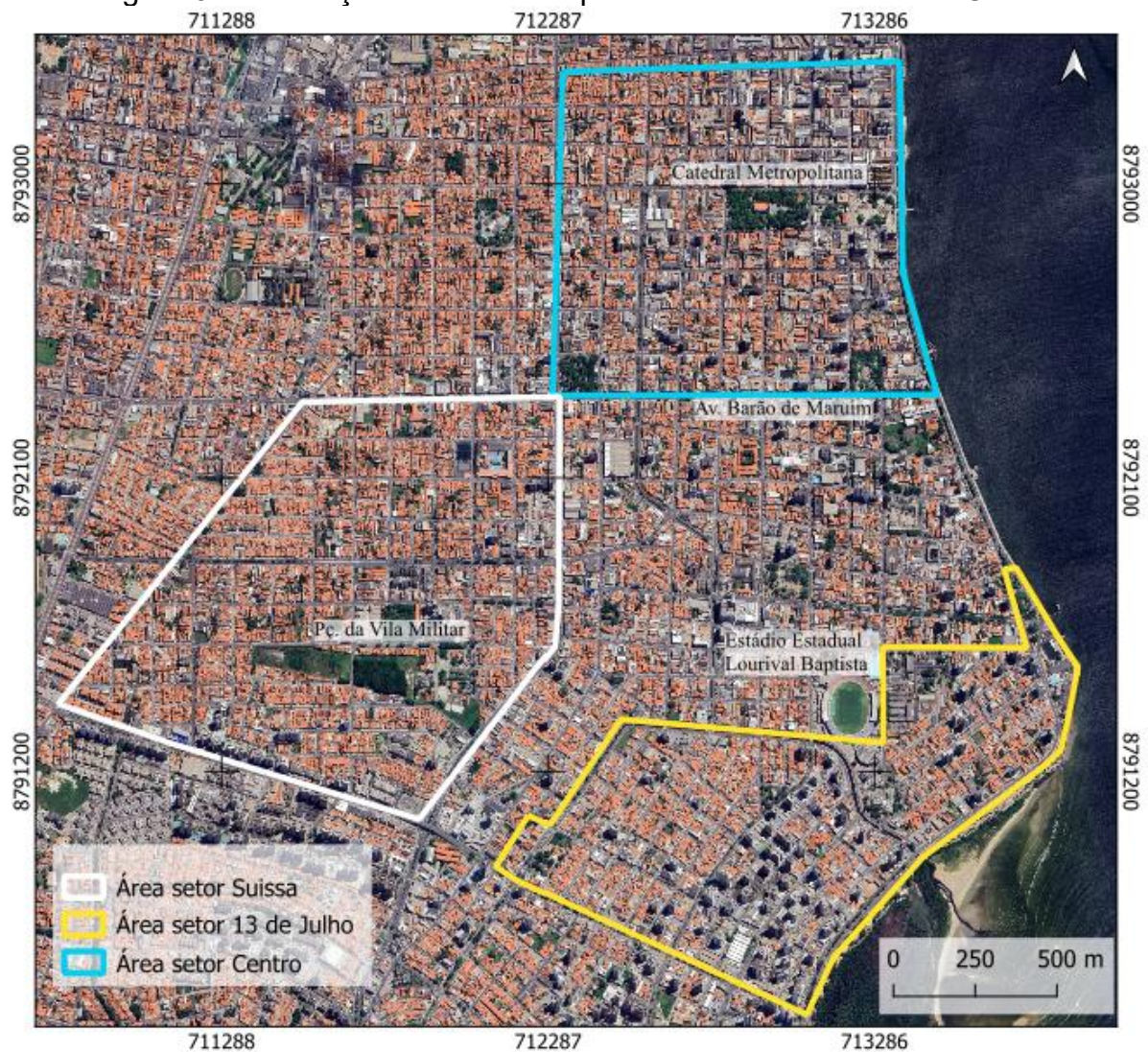
aprimoramento do planejamento das rotas, da organização dos setores e da logística de transbordo, com foco na melhoria da eficiência do sistema de coleta.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização dos setores operacionais

Os setores analisados apresentam contrastes significativos quanto à densidade populacional, aos padrões de consumo e à configuração da malha viária, o que possibilita uma análise comparativa mais consistente dos diferentes comportamentos de geração de resíduos bem como do desempenho logístico do sistema de coleta.

Figura 3: Delimitação dos setores operacionais de coleta de RSU



Fonte: Autora, 2026.

### 3.2 Características operacionais da coleta de RSU

A Tabela 1 sintetiza as principais características operacionais da coleta de resíduos sólidos urbanos nos setores Suíssa, Centro e 13 de Julho.

Tabela 1: Características operacionais da coleta de RSU nos setores analisados

Setor	Área (km <sup>2</sup> )	Percurso (km)	No de viagens	Tempo médio por viagem (h)	Volume total (ton)	População
Suíssa	1,309	25,62	2	02:47	15	12.771
Centro	1,081	22,66	2	04:15	9,8	9.624
13 de Julho	0,993	26,02	3	03:00	21	8.751

Fonte: Adaptado de Prefeitura de Aracaju (2023).

A Tabela 1 demonstra que o desempenho operacional da coleta de resíduos sólidos urbanos varia de acordo com a relação entre área atendida, volume gerado e organização dos itinerários. O Setor Suíssa apresentou maior eficiência logística, com duas viagens, menor tempo médio por viagem (2h47min) e percurso compatível com sua área, refletindo boa conectividade viária e padrão residencial. O Setor Centro registrou o maior tempo médio por viagem (4h15min) e o menor volume coletado (9,8 t), evidenciando maior complexidade operacional associada à elevada concentração de paradas e às restrições da malha viária. O Setor 13 de Julho, apesar da menor área, demandou três viagens, maior percurso total (26,02 km) e maior volume coletado (21 t), indicando elevada geração de resíduos e maior esforço operacional. Esses resultados indicam que a eficiência da coleta está mais relacionada à organização espacial dos roteiros e às características urbanas do que à extensão territorial dos setores.

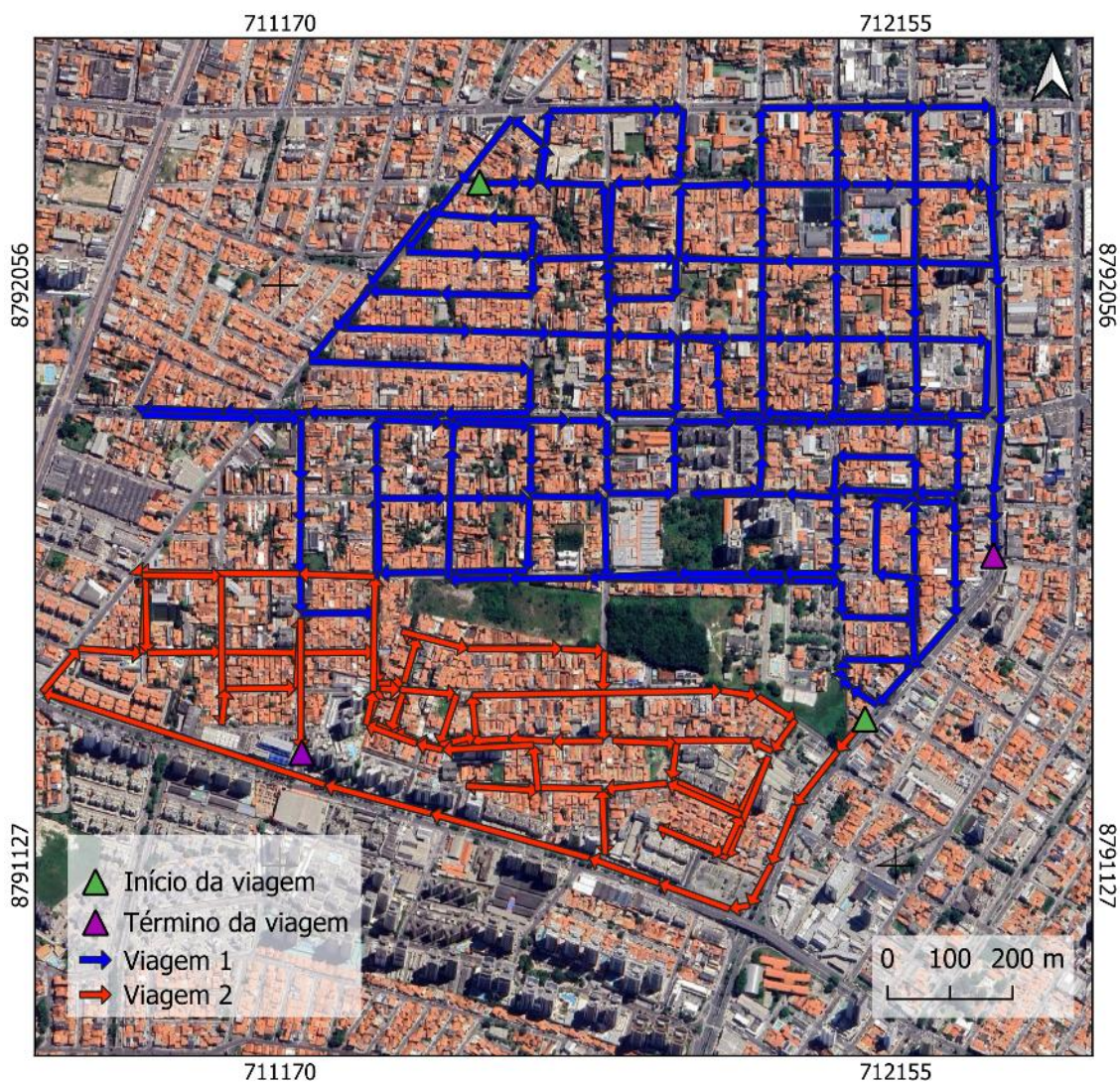
### 3.3 Reconstrução das trajetórias reais e análise espacial

A articulação entre os dados empíricos e a modelagem baseada em grafos permitiu identificar padrões de circulação, trechos críticos e sobreposições de rotas. Dessa forma, a análise dos dados provenientes do rastreamento dos caminhões compactadores possibilitou a reconstituição

cartograficamente precisa das trajetórias realizadas nos três setores estudados — Suíssa ,13 de Julho e Centro (Figuras 4, 5 e 6).

A Figura 4 evidencia um padrão de circulação caracterizado por elevada continuidade espacial e baixa sobreposição de segmentos viários no Setor Suíssa. Observa-se que as trajetórias dos caminhões apresentam traçado predominantemente linear, com distribuição relativamente homogênea das paradas ao longo do percurso, o que indica boa organização operacional e adequada conectividade da malha viária. Esse comportamento reflete a predominância do uso residencial no setor e a menor incidência de restrições à circulação, contribuindo para a eficiência logística da coleta e justificando a adoção do Setor Suíssa como referência comparativa neste estudo.

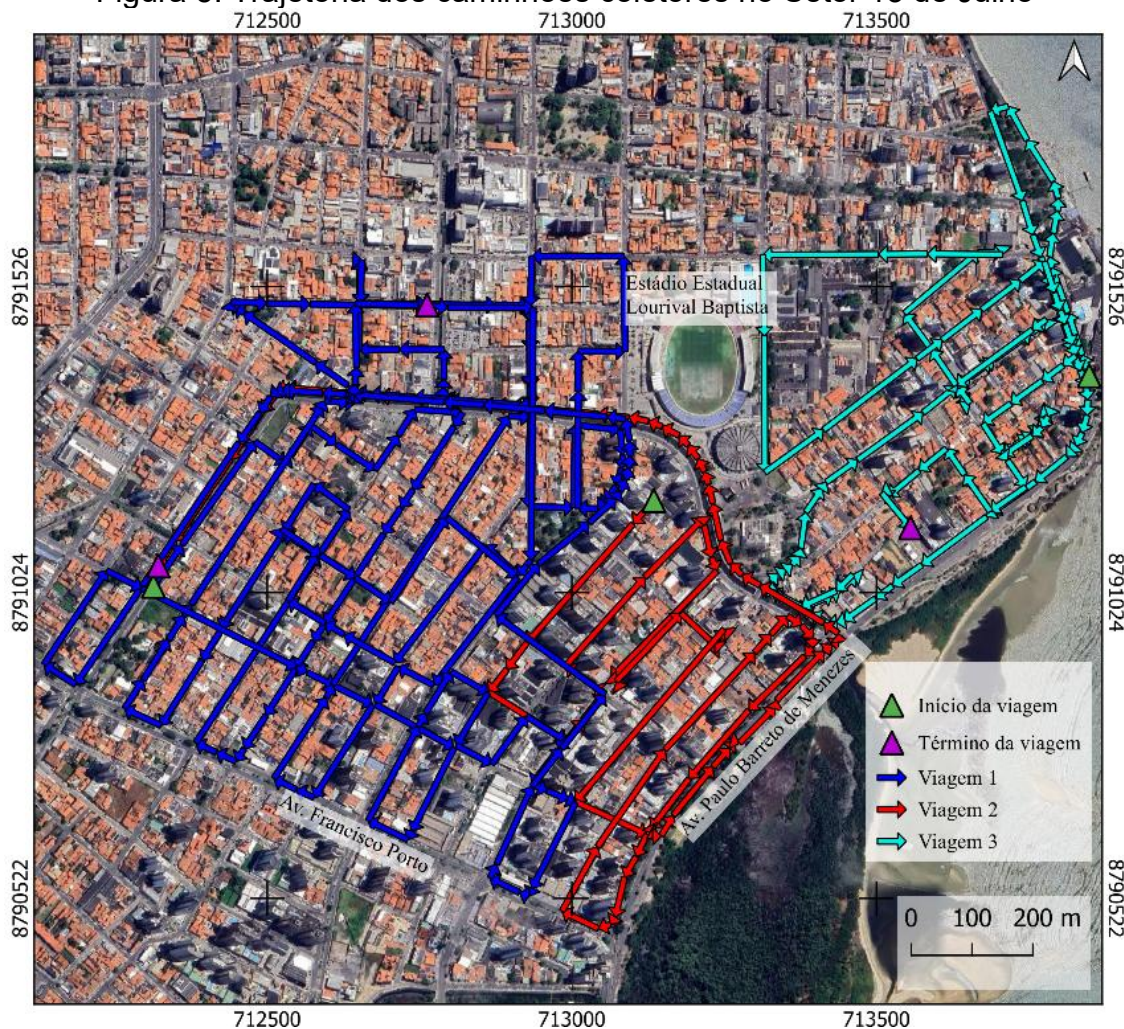
Figura 4: Trajetória dos caminhões coletores no Setor Suíssa



Fonte: Autora (2026).

A Figura 5 demonstra que as trajetórias dos caminhões no Setor 13 de Julho apresenta maior extensão e fragmentação quando comparadas ao setor de referência. Observa-se a ocorrência de retornos operacionais e sobreposição de trechos viários, associados à elevada geração de resíduos e à presença de condomínios residenciais, que demandam maior tempo de atendimento por ponto de coleta. Esse padrão espacial resulta em aumento do tempo de operação e menor linearidade do percurso, indicando potencial de otimização por meio da reorganização dos itinerários, conforme discutido nas análises subsequentes.

Figura 5: Trajetória dos caminhões coletores no Setor 13 de Julho

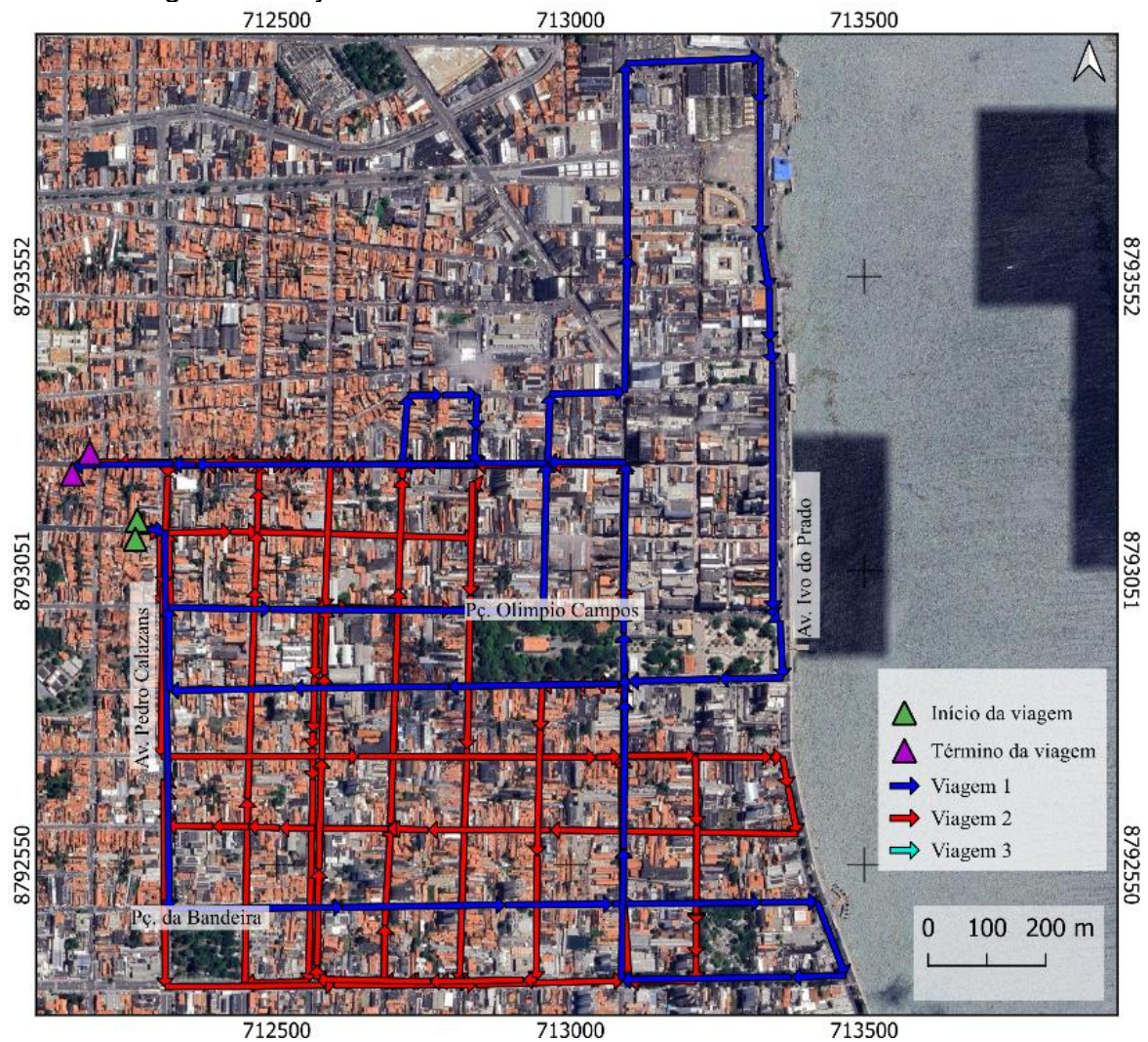


Fonte: Autora (2026).

A Figura 6 evidencia que as trajetórias dos caminhões coletores no Setor Centro apresentam elevada fragmentação espacial, baixa linearidade e

recorrente sobreposição de segmentos viários. Destaca-se a influência direta das áreas com circulação exclusiva de pedestres, especialmente o calçadão comercial, onde a entrada dos caminhões compactadores é inviável, o que impõe a concentração das paradas nas extremidades desses trechos e a realização de retornos operacionais. Essa restrição, associada à predominância de atividades comerciais, resulta em maior número de paradas e aumento do tempo de operação, contribuindo para a fragmentação dos percursos. Assim, o padrão observado indica que as ineficiências logísticas do Setor Centro estão mais relacionadas às limitações da morfologia urbana e do uso do solo do que à extensão total da rota, evidenciando potencial de otimização por meio da reorganização dos itinerários.

Figura 6: Trajetória dos caminhões coletores no Setor Centro



Fonte: Autora (2026).

### **3.4 Análise setorial do padrão de circulação**

No Setor Suíssa, não foram propostas alterações no traçado, uma vez que o padrão operacional observado apresentou elevada eficiência espacial e operacional, sendo esse setor adotado como referência para a avaliação comparativa dos demais contextos urbanos. Para os setores 13 de Julho e Centro, os resultados incorporam mapas comparativos entre as rotas anteriormente executadas e as rotas atualizadas, obtidas a partir da reorganização dos percursos efetivamente registrados.

No Setor 13 de Julho, observou-se um padrão de circulação associado a vias residenciais de alto padrão, caracterizadas por maior volume de resíduos e necessidade de percursos mais extensos. No Setor Centro, a complexidade logística foi marcada pela quantidade de via de mão única, fator que altera significativamente a dinâmica da rota. Já no Setor Suíssa constatou-se maior regularidade e linearidade no traçado percorrido, compatível com a configuração predominantemente residencial do bairro e com sua reconhecida eficiência operacional.

### **3.5 Desempenho operacional dos Setores**

#### **3.5.1 Setor Suíssa (setor de referência)**

Os resultados obtidos para o Setor Suíssa indicaram elevada continuidade espacial das trajetórias, baixa ocorrência de sobreposição de segmentos viários, com cerca de 80 paradas apresentando tempos médios de permanência que variam entre 1 e 5 minutos por ponto, forte aderência entre o itinerário planejado e o trajeto efetivamente executado.

A análise dos indicadores apresentados na tabela 2, especialmente a relação entre a área do setor e a quilometragem total percorrida, evidencia um padrão de deslocamento compatível com a eficiência operacional esperada para áreas predominantemente residenciais, dotadas de boa conectividade viária e baixo nível de restrições à circulação. Esse desempenho reforça o papel do Setor Suíssa como setor de referência, permitindo o estabelecimento de parâmetros comparativos para a avaliação dos demais setores.

Tabela 2: Indicadores de eficiência setores analisados.

Setor	Percurso (km)	Ton/dia	km/ton	Tempo médio por viagem (h)	Tempo/ton (h/ton)
Suíssa	25,62	15	1,71	02:47	0,37
Centro	22,66	9,8	2,31	04:15	0,87
13 de Julho	26,02	21	1,24	03:00	0,43

Fonte: Autora, 2026.

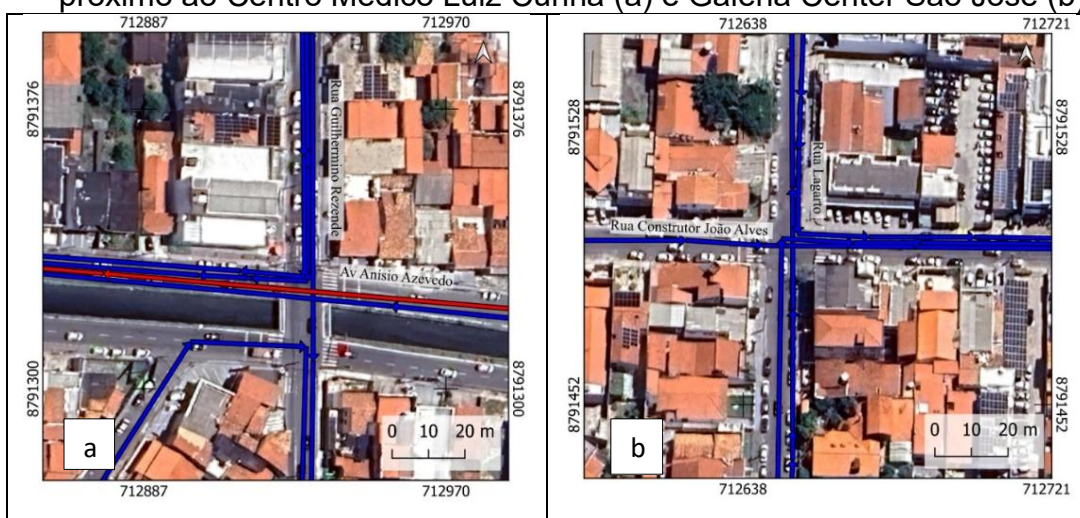
A Tabela 2 evidencia diferenças significativas no desempenho logístico entre os setores analisados, a partir de indicadores clássicos de eficiência operacional. O Setor Suíssa apresentou o melhor desempenho temporal, com 0,37 h/ton, indicando menor tempo despendido por tonelada coletada e maior produtividade da operação. O Setor 13 de Julho apresentou desempenho intermediário (0,43 h/ton), demonstrando bom aproveitamento da capacidade operacional, apesar de demandar maior número de viagens. Em contrapartida, o Setor Centro registrou o pior indicador temporal (0,87 h/ton), refletindo maior tempo necessário para coleta por tonelada, o que está associado à fragmentação da malha viária, presença de vias de mão única e elevada concentração de atividades comerciais. O indicador km/ton reforça essa análise, evidenciando maior esforço de deslocamento no Centro (2,31 km/ton) em comparação ao 13 de Julho (1,24 km/ton) e à Suíssa (1,71 km/ton). De forma complementar, o índice ton/km demonstra maior aproveitamento logístico no Setor 13 de Julho (0,81 ton/km), seguido por Suíssa (0,59 ton/km), enquanto o Centro apresenta menor eficiência espacial (0,43 ton/km). Esses resultados confirmam que a eficiência da coleta está diretamente relacionada à organização territorial e à conectividade da rede viária, e não apenas à extensão da área atendida.

### 3.5.2 Setor 13 de Julho

Os registros georreferenciados evidenciaram diferenças nos problemas operacionais entre os setores analisados. No Setor 13 de Julho, observou-se um percurso mais extenso (Tabela 1) e mais fragmentado, com maior número de viagens, associado a um elevado quantitativo de paradas operacionais,

totalizando cerca de 112 paradas efetivas, com duração média entre 1 e 5 minutos, retornos operacionais e sobreposições de trajetos como mostra a Figura 7. A configuração urbana do setor, marcada por vias residenciais amplas, presença de condomínios fechados e elevada geração de resíduos, contribuiu para o aumento do tempo de deslocamento e para a redução da linearidade dos percursos. Esse comportamento está em consonância com Getis (2008), ao indicar que os padrões espaciais refletem as condições de acessibilidade e conectividade do território urbano.

Figura 7: Sobreposições de trajetos operacionais no Setor 13 de Julho - próximo ao Centro Médico Luiz Cunha (a) e Galeria Center São José (b)



Fonte: Autora (2026).

A análise comparativa entre a rota executada e a rota atualizada evidenciou diferenças estruturais relevantes. O percurso original apresentava maior fragmentação, recorrência de retornos e extensão superior à necessária para a cobertura da área o que implicava maior tempo de operação e aumento do consumo de combustível. Considerando que o consumo médio do caminhão compactador é de aproximadamente 1,65 km/L Prefeitura Municipal de Rolante (2020), essa configuração resultava em maior demanda de diesel por viagem. Em contrapartida, a rota atualizada apresentou maior racionalização do traçado, com melhor aproveitamento da conectividade da malha viária e redução de deslocamentos improdutivos, indicando potencial de otimização da operação de coleta, apesar das restrições impostas pela elevada geração de resíduos e pela presença de condomínios fechados.

### 3.5.3 Setor Centro

No Setor Centro, a dinâmica da coleta mostrou-se fortemente condicionada pelo perfil dos resíduos gerados, em função da predominância de atividades comerciais. Observou-se uma maior ocorrência de embalagens, papel e papelão, plásticos e resíduos orgânicos oriundos de bares, restaurantes e serviços, resultando em maior volume e heterogeneidade por ponto de coleta o que se refletiu em um elevado número de paradas operacionais, totalizando aproximadamente 92 paradas efetivas que duram entre 1 e 5 minutos ao longo do roteiro. Essa condição demanda maior tempo de atendimento e uso mais intensivo da capacidade operacional dos caminhões. Adicionalmente, a presença de vias de mão única e de trechos com circulação exclusiva para pedestres (Figura 8) impõe restrições ao traçado das rotas, exigindo ajustes operacionais frequentes.

Figura 8: Trecho com circulação exclusiva de pedestres (calçadões) no Setor Centro



Fonte: Autora (2026).

Conforme ilustrado a Figura 8, a presença de trechos com circulação exclusiva de pedestres no Setor Centro constitui um dos principais condicionantes logísticos da coleta de resíduos sólidos urbanos nessa área. Esses espaços impõem restrições diretas ao deslocamento dos caminhões compactadores, exigindo adaptações operacionais como a concentração das paradas nas extremidades dos calçadões, a realização de retornos obrigatórios e a reconfiguração frequente dos itinerários. Essa dinâmica contribui para o aumento do tempo de operação e para a fragmentação dos percursos, reforçando que, no Setor Centro, as ineficiências observadas estão menos relacionadas à extensão da rota e mais às limitações impostas pela morfologia urbana e pelo uso do solo predominantemente comercial.

### **3.6 Avaliação da aderência entre rotas reais e modelagem em grafos**

A sobreposição das rotas reais aos grafos construídos em ambiente SIG possibilitou avaliar quantitativamente a compatibilidade entre o percurso idealizado e o percurso efetivamente executado. A análise permitiu identificar segmentos viários com ocorrência de deslocamentos repetidos sem incremento proporcional de coleta, caracterizando trechos improdutivos e redundâncias operacionais. Para fins analíticos, considerou-se como trecho de sobreposição todo segmento viário percorrido mais de uma vez no mesmo ciclo operacional.

No Setor 13 de Julho, foram identificadas 13 vias com ocorrência de sobreposição de trajetos, totalizando 29 registros de repetição em segmentos específicos, conforme detalhado na Tabela 3. Destaca-se a Avenida Anísio Azevedo, com cinco ocorrências, indicando ponto crítico de baixa eficiência espacial.

Tabela 3: Ocorrência de trechos com sobreposição de trajetos nas rotas reais-13 de Julho.

Via	Número de Ocorrências
R. José Faro Rolemberg	2
R. Fenelon Santos	2
R. Francisco Portugal	2

R. Péricles Muniz Barreto	2
R. Guilhermino Rezende	2
Via	Número de Ocorrências
R. Laura fontes	2
R. Construtor João Alves	2
Av. Anísio Azevedo	5
R. Lagarto	2
R. Antônio Fagundes Santana	2
Av. Paulo Barreto de Menezes	2
Tv. João Olímpio Mangueira	2
R. Dr. Célso Oliva	2
<b>Total de ocorrências</b>	<b>29</b>

Fonte: Autora, 2026.

No Setor Centro, foram registradas cinco vias com trechos de sobreposição conforme detalhado na tabela 4, totalizando 15 ocorrências, com maior frequência na Avenida Pedro Calazans (cinco registros). Esses resultados evidenciam padrões de circulação com retornos operacionais e repetição de deslocamentos sobre os mesmos segmentos viários.

Tabela 4: Ocorrência de trechos com sobreposição de trajetos nas rotas reais - Centro.

Via	Número de Ocorrências
R. Itabaiana	3
Av Pedro Calazans	5
Av Barão de Maruim	3
R. Pacatuba	2
Pr. Olímpio Campos	2
<b>Total de ocorrências</b>	<b>15</b>

Fonte: Autora, 2026.

Em contraste, o Setor Suíssa apresentou elevada aderência entre o traçado real e o planejamento operacional, não sendo identificados padrões

significativos de sobreposição de segmentos, o que indica maior regularidade e eficiência da operação (Figura 4).

A quantificação dessas ocorrências reforça a eficácia da representação da malha viária por meio de grafos como instrumento analítico para identificação de redundâncias e inconsistências operacionais, permitindo diagnósticos mais objetivos do desempenho logístico.

### **3.7 Comparação do desempenho operacional entre os setores**

A comparação do desempenho operacional entre os setores revelou diferenças expressivas. O Setor 13 de Julho (Figura 5) apresentou maior extensão percorrida, elevado índice de sobreposições, passagem por áreas do bairro São José já atendidas por outro roteiro de coleta como mostra a figura 9, e maior geração de resíduos, resultando em maior tempo de operação. No Setor Centro, o comportamento da rota foi condicionado principalmente pela diversidade e pelo volume dos resíduos de origem comercial, associados às restrições impostas pela malha viária urbana. Por sua vez, o Setor Suíssa apresentou o desempenho mais regular, com menor tempo médio de percurso, menor incidência de desvios e elevada aderência ao trajeto ideal, obtido por meio da modelagem em grafos.

A Figura 9 demonstra a ocorrência de atendimento de trechos localizados no bairro São José por um roteiro originalmente vinculado ao Setor 13 de Julho, evidenciando inconsistências na setorização operacional da coleta. Essa sobreposição territorial resulta em duplicidade de percursos e uso ineficiente da malha viária, uma vez que áreas já contempladas por outro setor são novamente percorridas. Tal situação compromete a eficiência logística do sistema e indica a necessidade de revisão dos limites operacionais entre os setores, de modo a alinhar a setorização à conectividade da rede viária e à dinâmica real da coleta, minimizando deslocamentos improdutivos.

Figura 9: Trecho atendido pelo setor São José



Fonte: Autora (2026).

Essas diferenças corroboram a proposição de Maguire (2005), segundo a qual a análise espacial deve considerar a organização territorial como fator determinante do comportamento operacional. De modo semelhante, os resultados confirmam Longley et al. (2015), ao evidenciarem que a eficiência das rotas está diretamente associada à estrutura da malha urbana, ao uso e ocupação do solo e às restrições impostas pelo território.

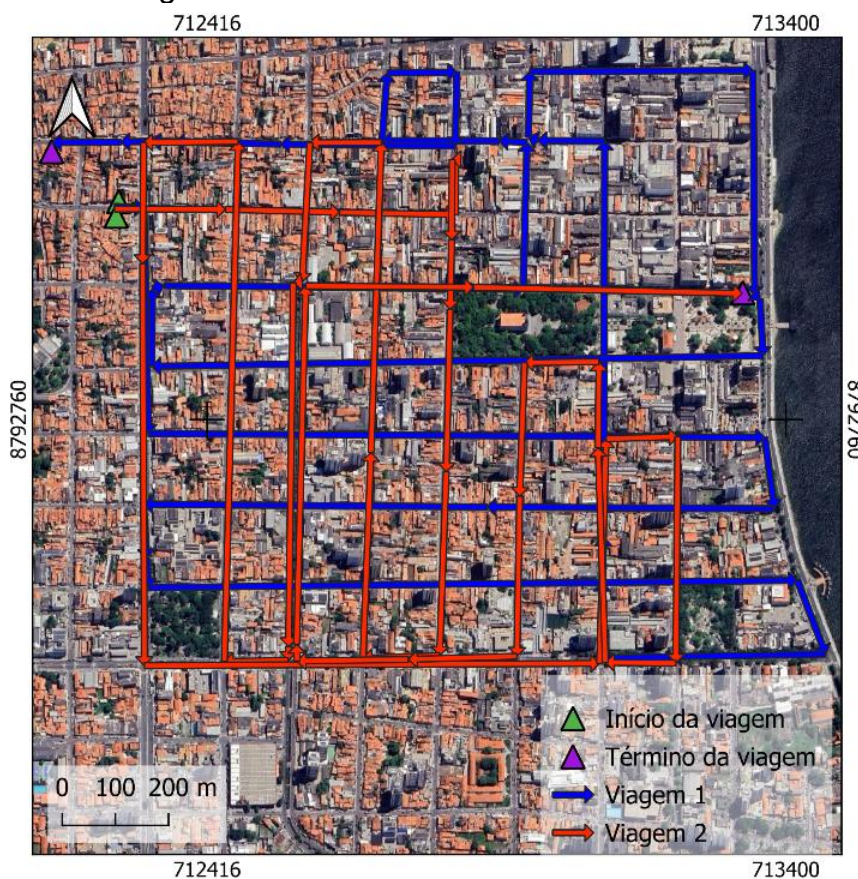
### 3.8 Avaliação das rotas atualizadas e ganhos de eficiência

A comparação entre as rotas originais e as rotas atualizadas evidencia alterações relevantes no comprimento dos percursos nos setores Centro (tabela 5) e 13 de Julho (tabela 6), com reflexos diretos sobre o consumo de combustível e os custos operacionais. Considerando o preço médio do óleo diesel de R\$ 5,33 por litro e um rendimento médio dos caminhões compactadores de 1,65 km/L, obtém-se um custo aproximado de R\$ 3,23 por quilômetro percorrido. Além da

redução da quilometragem, a análise integrada dos atributos operacionais — especialmente velocidade instantânea, horário e tempo de permanência nos pontos de coleta — indicou diminuição de deslocamentos improdutivos e maior regularidade na distribuição das paradas ao longo dos roteiros, fatores que contribuem para a eficiência global da operação.

No Setor Centro (Figura 10 e tabela 5), a Viagem 1 apresentou aumento da distância percorrida, passando de 8,758 km na rota original para 9,738 km na rota atualizada (+0,98 km), enquanto a Viagem 2 registrou redução expressiva, de 13,902 km para 10,152 km (-3,75 km). O saldo consolidado das duas viagens resultou em uma redução líquida de aproximadamente 2,77 km, correspondente a uma economia estimada de R\$ 8,95 por ciclo operacional. A análise dos dados de velocidade e horário revelou que essa redução esteve associada à eliminação de retornos operacionais e à melhor organização das paradas em períodos de menor interferência do tráfego comercial, refletindo maior fluidez do deslocamento e menor tempo de percurso improdutivo.

Figura 10: Rota atualizada do Setor Centro.



Fonte: Autora (2026).

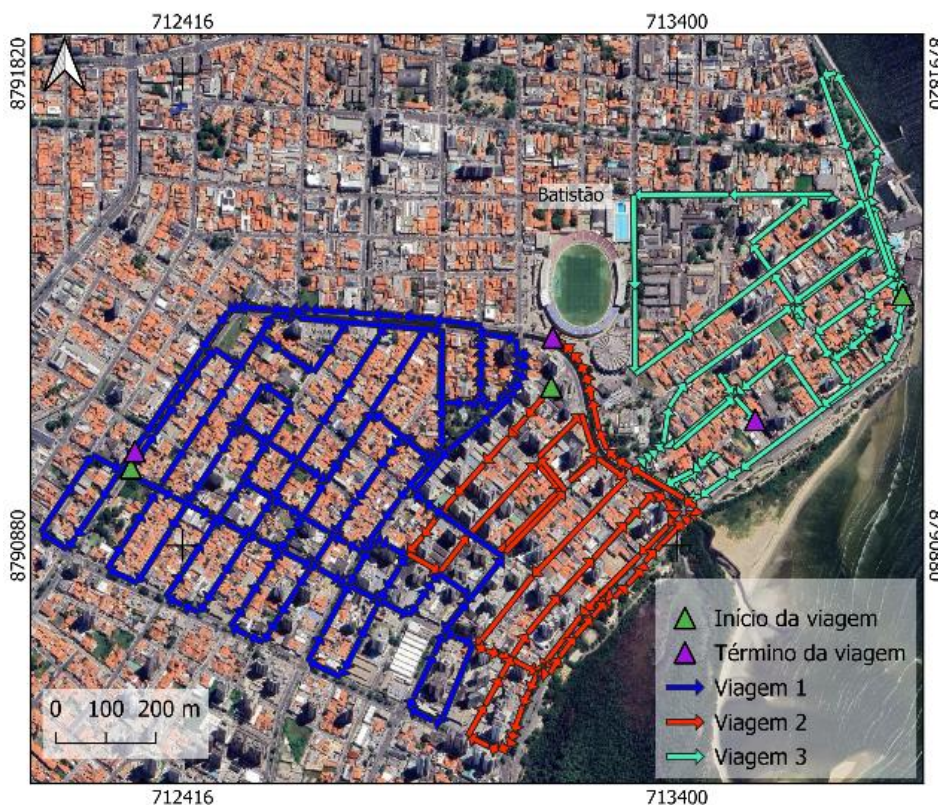
Tabela 5: Comparação das rotas originais e rotas atualizadas – setor Centro

Viagem	Rota original (km)	Rota atualizada (km)	Varição (km)
1	8,758	9,738	+0,980
2	13,902	10,152	-3,750
Total	22,660	19,890	-2,770

Fonte: Autora, 2026.

No Setor 13 de Julho, observou-se redução do percurso (Figura 11 e tabela 6) na Viagem 1, de 14,481 km para 11,349 km (-3,132 km), e na Viagem 2, de 5,501 km para 4,492 km (-1,009 km), enquanto a Viagem 3 manteve-se inalterada, com 6,03 km em ambas as configurações. A redução acumulada nesse setor foi de aproximadamente 4,14 km, representando uma economia estimada de R\$ 13,37 por ciclo. Os registros de velocidade indicaram menor incidência de sobreposições de trajetos e de retornos sem coleta efetiva, enquanto a distribuição temporal das paradas mostrou maior continuidade operacional, com tempos médios de permanência compatíveis com a dinâmica residencial do setor.

Figura 11: Rota atualizada do Setor 13 de julho.



Fonte: Autora (2026).

Tabela 6: Comparação das rotas originais e rotas atualizadas – setor 13 de Julho.

Viagem	Rota original	Rota atualizada	Varição (km)
1	14,481	11,349	-3,132
2	5,501	4,492	-1,009
3	6,030	6,030	0,000
Total	26,012	21,871	-4,141

Fonte: Autora, 2026.

De forma geral, a atualização das rotas resultou em uma redução total aproximada de 7,0 km por ciclo operacional, correspondendo a uma economia direta da ordem de R\$ 22,30 por dia de coleta. Considerando que as rotas são executadas seis vezes por semana, essa redução representa uma economia anual estimada em aproximadamente R\$ 6.960,00. Esses resultados evidenciam que os ganhos econômicos associados à reorganização dos roteiros não decorrem exclusivamente da redução da distância percorrida, mas também da racionalização das paradas operacionais, da melhoria da fluidez dos deslocamentos e da diminuição de trechos improdutivos, conforme indicado pela análise dos atributos espaciais e temporais do sistema de coleta.

## CONCLUSÃO

A integração entre dados empíricos de rastreamento por GPS, técnicas de geoprocessamento em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e a modelagem da malha viária fundamentada na teoria dos grafos possibilitou a construção de uma representação consistente e analiticamente robusta do funcionamento real do sistema de coleta de resíduos sólidos urbanos nos setores Suíssa, 13 de Julho e Centro, no município de Aracaju. Essa abordagem permitiu avaliar, de forma integrada, a dimensão espacial, temporal e operacional da coleta, superando análises estritamente descritivas e aproximando o planejamento teórico da realidade operacional.

A reconstrução das trajetórias reais dos caminhões compactadores, associada à análise dos atributos operacionais como velocidade instantânea, horário de operação e tempo de permanência nos pontos de coleta evidenciou padrões de circulação, trechos improdutivos, retornos operacionais e variações

na regularidade do serviço diretamente relacionadas às características morfológicas, funcionais e socioespaciais de cada setor analisado. Esses resultados demonstram que a eficiência logística da coleta não depende exclusivamente da extensão dos percursos, mas também da organização temporal das paradas, da fluidez dos deslocamentos e da conectividade da malha viária.

A análise comparativa entre as rotas originais e as rotas atualizadas revelou ganhos operacionais mensuráveis (tabela 7) nos setores Centro e 13 de Julho, expressos na redução da quilometragem percorrida, na diminuição de sobreposições de trajetos e na racionalização das paradas operacionais. Tais ajustes resultaram em economia direta de combustível e redução dos custos operacionais, estimada em aproximadamente R\$ 22,30 por ciclo diário de coleta, o que corresponde a uma economia anual da ordem de R\$ 6.960,00. Esses ganhos reforçam o potencial do uso integrado de SIG e dados de GPS como ferramenta técnico-gerencial para o aprimoramento do planejamento municipal da coleta de resíduos sólidos urbanos.

Tabela 7: Características operacionais da coleta de RSU nos setores analisados

Setor	Percurso original (km)	Percurso atualizado (km)	Redução (km)	Economia (R\$)
Centro	22,66	19,89	2,77	8,95
13 de Julho	26,02	21,87	4,14	13,37
Total	48,67	41,76	6,91	22,32

Fonte: Autora, 2026.

O Setor Suíssa destacou-se como setor de referência em eficiência operacional, apresentando elevada linearidade dos percursos, forte aderência entre o itinerário planejado e o trajeto efetivamente executado, baixa incidência de retornos improdutivos e distribuição mais homogênea das paradas ao longo do roteiro. Em contrapartida, o Setor 13 de Julho apresentou maior complexidade logística, condicionada pela elevada geração de resíduos e pela presença de condomínios fechados, enquanto o Setor Centro mostrou-se fortemente influenciado pela dinâmica comercial e pelas restrições impostas pela malha viária urbana, especialmente vias de mão única e áreas exclusivas para pedestres.

De modo geral, os resultados confirmam que a organização territorial, o uso e ocupação do solo e as restrições operacionais específicas de cada setor exercem influência decisiva sobre o desempenho logístico da coleta de resíduos sólidos urbanos. Nesse sentido, a comparação entre trajetos efetivamente realizados e rotas reorganizadas a partir da conectividade da rede viária mostrou-se fundamental para a identificação de ineficiências e oportunidades de melhoria, ainda que não tenha sido empregada uma modelagem matemática formal de otimização de rotas.

Como limitação do estudo, destaca-se a ausência de variáveis econômicas mais detalhadas, como custos de manutenção da frota, mão de obra e tempos de descarregamento no transbordo, bem como a não inclusão do deslocamento até o aterro sanitário, etapa que foge à competência operacional da Emsurb. Ainda assim, a metodologia aplicada mostrou-se replicável e tecnicamente consistente, podendo ser adaptada a outros contextos urbanos e a diferentes escalas de análise.

Conclui-se, portanto, que o uso integrado de dados de GPS, SIG e princípios da teoria dos grafos constitui uma ferramenta eficaz para o diagnóstico e o aprimoramento da coleta de resíduos sólidos urbanos, oferecendo subsídios relevantes à tomada de decisão por gestores públicos e ao planejamento de políticas municipais mais eficientes, alinhadas às especificidades territoriais e às dinâmicas operacionais locais.

## REFERÊNCIAS

ARACAJU. Prefeitura Municipal de Aracaju. **Agilidade da Prefeitura garantiu celeridade à regularização da coleta domiciliar**. Aracaju, SE: Prefeitura de Aracaju, 2025.

[https://www.aracaju.se.gov.br/noticias/99648/agilidade\\_da\\_prefeitura\\_garantiu\\_celeridade\\_a\\_regularizacao\\_da\\_coleta\\_domiciliar.html](https://www.aracaju.se.gov.br/noticias/99648/agilidade_da_prefeitura_garantiu_celeridade_a_regularizacao_da_coleta_domiciliar.html)

BAETZ, B.W. Optimization/Simulation Modeling for Waste Management Capacity Planning. **Journal of Urban Planning and Development**, v.116, n.2, p.59-79, 1990, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9488\(1990\)116:2\(59\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9488(1990)116:2(59)).

BARBOSA, A.; GONÇALVES, T.J.C.; SIMÕES, P. Improving municipal solid waste services: insights into efficiency, productivity, and recycling in Brazil. **Sustainability**, v.17, n.6, p.1-24, 2025, <https://doi.org/10.3390/su17062519>.

BELIËN, J.; BOECK, L.; VAN ACKERE, J. Municipal solidwaste collection and management problems: A literature review. **Transportation Science**, v.48, n.1, p. 78–102, 2011. <https://www.researchgate.net/publication/257420825>

BENEDICTO, S.C., SANTOS, R.M., SILVA, E.C.; SUGAHARA, C.R. Desafios das políticas públicas dos municípios brasileiros em relação à destinação dos resíduos sólidos frente ao objetivo de desenvolvimento sustentável. **Journal of Urban Technology and Sustainability**, v.6. n.1, p.1-13, 2023. <https://doi.org/10.47842/juts.v6i1.52>.

BERNARDO, M.; LIMA, R.S. Planejamento e implantação de um programa de coleta seletiva municipal: uso de SIG nas rotas de coleta. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v.9, n.1, p.385-395, 2017, <https://doi.org/10.1590/2175-3369.009.SUPL1.AO10>.

BRAGA, J.O.N.; COSTA, L.A.; GUIMARÃES, A.L.; TELLO, J.C.R. O uso do geoprocessamento no diagnóstico dos roteiros de coleta de lixo da cidade de Manaus-AM. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.13, n.4 p.387-394, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000400007>.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BRASILEIRO, L.A.; LACERDA, M.G. Análise do uso de SIG no roteamento dos veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.13, n.4, p.356-360, 2008, <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000400002>. 2008.

CAMÕES, F.B., SILVA, R.F. Gestão de resíduos sólidos e seu impacto na qualidade de vida: caso de estudo do Bairro Torrone Velho (Quelimane – Moçambique). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.11, n.3, p.17-32, 2023, <https://doi.org/10.5281/zenodo.10424117>.

CASTRO, G.O.; SARAIVA, M.E.T.; MORAES, B.E. C.; FRANCO, L.D.; SARAIVA, M.F.A. Desenvolvimento sustentável, a coleta de materiais recicláveis segundo a Lei de Política Nacional de Resíduos Sólidos e as propostas da Agenda 2030: uma análise da coleta de materiais recicláveis na cidade de Juiz de Fora – MG. **Revista Vianna Sapiens**, v.15, n.2, p.234-266, 2024. <https://doi.org/10.31994/rvs.v15i2.1004>.

CORREIA, V. S. C, AQUINO, M. D, THOMAZ, A. C. F, CORREIA, M. L. V. Análise crítica das rotas de coleta de resíduos sólidos urbanos no bairro centro do município do Crato/CE. **Revista DAE**, v. 68, n.222, p.52-64, 2020, <https://doi.org/10.36659/dae.2020.016>.

COSTA, L.A.V.; IGNÁCIO, R.P. Relações de consumo x meio ambiente: em busca do desenvolvimento sustentável. **Âmbito Jurídico**, v. 16, n. 95, 2011.

COSTA, I.M; DIAS, M.F.; ROBAINA, M. Evaluation of the efficiency of urban solid waste management in Brazil by data envelopment analysis and possible variables of influence. **Waste Disposal & Sustainable Energy**, v. 6, p. 283–295, 2024, <https://doi.org/10.1007/s42768-023-00175-x>.

EMSURB – Empresa Municipal de Serviços Urbanos. **Dados operacionais da coleta de resíduos sólidos urbanos de Aracaju**. Aracaju, 2025.

CUNHA, C.B. Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais. **Transporte**, v.8 n.2, p.51-74, 2000, <https://doi.org/10.14295/transportes.v8i2.188>.

GETIS, A. A history of the concept of spatial autocorrelation: a geographer's perspective. **Geographical Analysis**, v. 40, n. 3, p. 297-309, 2008.

GHOSE, M.K., DIKSHIT, A.K., SHARMA, S.K. A GIS based transportation model for solid waste disposal – A case study on Asansol municipality. **Waste Management**, v. 26, n.2, p.1287–1293, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.09.022>.

HESS, C.; DRAGOMIR, A.G.; DOERNER, K.F.; VIGO, D. Waste collection routing: a survey on problems and methods. **Central European Journal of Operations Research**, v.32, p.399–434, 2024, <https://doi.org/10.1007/s10100-023-00892-y>

KIRAN D.A.; PUSHKARA S.V.; JITVAN R.; DARSHAN S. Characterization, quantification and management of municipal solid waste in Shivamogga city, Karnataka, India. **Waste Management Bulletin**, v.1, n.3, p.18–26, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2023.06.006>.

KYESSI A.; MWAKALINGA, V. GIS application in coordinating solid waste collection: the case of Sinza Neighbourhood inn Kinondoni municipality, Dar es Salaam city. **Municipality and Natural Resources Management**, v.3, n.8, p.1–19, 2009.

LAPORTE, G. The vehicle routing problem: an overview of exact and approximate algorithms. **European Journal of Operational Research**, v. 59, n. 3, p. 345-358, 1995.

LAPORTE, G. Fifty Years of Vehicle Routing. **Transportation Science**, v. 43, n. 4, p. 408–416, 2009.

LIMA, R.S., LIMA, J.P. ; SILVA, T.V.V. Roteirização em arcos com um sistema de informações geográficas para transportes: aplicação em coleta de resíduos sólidos urbanos. **Journal of Transport Literature**, v.6, n.2, p. 180-196, 2012.

NUNES, C. A.S.; NASCIMENTO, M. S. A questão habitacional no contexto do capitalismo contemporâneo: a expansão de assentamentos precários na cidade de Aracaju-SE. **Revista Jatobá**, v. 6, p. 1-22, 2024. <https://doi.org/10.5216/revjat.v6.78565>.

PASCOAL JÚNIOR, A.; OLIVEIRA FILHO, P.C. Análise de rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares com uso de geoprocessamento. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambiental**, v.8, n.2, p.131-144, 2010, <https://doi.org/10.7213/cienciaanimal.v8i2.10808>.

PENA, R.T.R.; DIAS R.M.; SEABRA, L.O. Roteirização da coleta seletiva com o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG): estudo de Monte Carmelo (MG). **Geoambiente OnLine**, n.42, p.51-70, 2022.

PEREIRA, A.O.K.; HORN, L.F.D.R. Relações de consumo: meio ambiente. Caxias do Sul, RS: Educs, 2009, 232p.

PREFEITURA DE ARACAJU. **Anuário estatístico 2023 - ano base 2022**. Aracaju: Secretaria Municipal do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2023, 55p. Disponível em: [https://transparencia.aracaju.se.gov.br/prefeitura/wp-content/uploads/relatorios\\_estatisticos/anuario\\_estatistico/ANUARIO\\_2023\\_Ano\\_Base\\_2022.pdf](https://transparencia.aracaju.se.gov.br/prefeitura/wp-content/uploads/relatorios_estatisticos/anuario_estatistico/ANUARIO_2023_Ano_Base_2022.pdf). Acessado em: 14 out 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ROLANTE. Anexo 1.1 – Orçamento referência: planilha de composição de custos mensais – Lote I – coleta manual e transporte dos resíduos sólidos domésticos até a central de triagem na localidade Glória. Pregão Presencial nº 14/2020. Rolante, RS, 2020.

QUDDUS, M. A.; OCHIENG, W. Y.; NOLAND, R. B. Current map-matching algorithms for transport applications: State-of-the art and future research directions. **Transportation Research Part C**, v. 15, n. 5, p. 312–328, 2007.

REBEHY, P.C.P.W.; SALGADO JUNIOR, A.P.; OMETTO, A.R.; ESPINOZA, D.F.; ROSSI, E.; NOVI, J.C. Municipal solid waste management (MSWM) in Brazil: drivers and best practices towards to circular economy based on European Union and BSI. **Journal of Cleaner Production**, v. 401, n. 15, p. 136-141, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136591>.

SANTIAGO, C.D.; MAROTTI, AC.B.; PUGLIESI, É.; GONÇALVES, J.C. Política Nacional de Resíduos Sólidos: perspectivas após um decênio de sua promulgação. **Desenvolvimento & Meio Ambiente**, v.62, p.152-177, 2023. <https://doi.org/10.5380/dma.v62i0.81833>.

SHERAFAT, H. Sistema construtor de circuitos e sua aplicação na roteirização de coleta de lixo domiciliar. **Revista GEINTEC**, v.3, n.5, p.329-347, 2013.

SIDDAM, S. KHADIKAR , I.; CHITADE, A. Route optimisation for solid waste management using geoinformatics. **Journal of Mechanical and Civil Engineering**, v.2, n.1, p. 78–83, 2012.

SILVA, A.A.; LINS, S.L.S.; XAVIER, A.S. Uma aplicação do problema do carteiro chinês direcionado na coleta de lixo urbano. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n.5,p.24640-24659, 2020, <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-062>.

SILVA, C.S.S.; BOLL, N.; ZANIN, G.B.; PERETTI, G.; SOUZA, D.S. Análise histórica da geração, coleta e destinação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Revista Tecnologia & Sociedade**, v. 16, n. 41, p. 125-138, maio 2020.

SILVA, D.C.C., OLIVEIRA, V.N., OLIVEIRA, V.D., VENANZI, D. Aplicação de técnicas de análise espacial para otimização das rotas de coleta de material reciclável. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.6, p.1812-1828, 2017. <https://www.researchgate.net/publication/327430903>.

SILVA, D.C.C.; NERY, L.M.; SIMONETTI, V.C. Gestão espacial das rotas de coleta de material reciclável com suporte de SIG e indicadores de produtividade. **Revista Tecnologia & Sociedade**, v.19, n.55, p.366-386, 2023.

SILVA, R.C.P; EL-DEIR, S.G.; COSTA, A.R.S.; JUCÁ, J.F.T. Setorização de rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares por técnicas multivariadas: estudo de caso da cidade do Recife, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.25, n.6, p.821-832, 2020. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020200205>.

SMITH, M. J.; GOODCHILD, M. F.; LONGLEY, P. A. **Geospatial Analysis: A comprehensive guide to principles, techniques and software tools**. 7. ed., 2025.

SULEMANA, A., DONKOR, E.A., FORKUO, E.K., ODURO-KWARTENG, S. Optimal routing of solid waste collection trucks: a review of methods. **Journal of Engineering**, v.11, p.1–12, 2018, <https://doi.org/10.1155/2018/4586376>.

SULEMANA, A., DONKOR, E.A., FORKUO, E.K., ASANTEWAA J., ANKRAH, I.N., MUSAH, A.M.O. Optimized routing of trucks for institutional solid waste collection in Kumasi, Ghana, **Detritus**, v.9, p.50-58, 2020. <https://doi.org/10.1155/2018/4586376>

TRIGO, A.G.M.; TRIGO, J.A.; MARUYAMA, Ú.; MELO, V. A Política Nacional de Resíduos Sólidos e a redução de impactos ambientais negativos: viabilizando cidades e comunidades sustentáveis. **Revista Gestão & Desenvolvimento**, v. 20, n. 1, p.130-149, 2023, <https://doi.org/10.25112/rgd.v20i1.2910>

VARGAS, A.P.; DÍAZA, D.; SANTIAGO J.; RANGELA, F; DANIEL VILLAC, D.; VILLEGAS, J.G. Improving the tactical planning of solid waste collection with

prescriptive analytics: a case study. **Production**, v.32, p.1-22, 2022, <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20210037>.

VILCHEZ-TORRES M.; RAMOS-CASTILLO N.; BOBADILLA-ASTO L. Optimization of solid waste collection routes using graph theory and linear program. **LACCEI**, v.1, n.8, p.1-8, 2023, <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.925>