

# Otimização da Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos em Teresina: Uma Análise por Simulação Computacional

Marcos Paulo\*

Walterdes Machado<sup>†</sup>  
Instituição Exemplo

15 de Maio de 2025

## Abstract

Este estudo apresenta uma simulação computacional do sistema de coleta de resíduos sólidos urbanos em Teresina, Brasil, utilizando um modelo orientado a objetos implementado em Java. A simulação modela cinco zonas urbanas, caminhões pequenos para coleta local, estações de transferência e caminhões grandes para transporte ao aterro. O objetivo foi avaliar a eficiência da coleta, o tempo médio de espera nas estações de transferência e o número mínimo de caminhões grandes necessários para atender a demanda. Resultados indicam que, para uma geração diária de 100 toneladas de resíduos, a eficiência de coleta atingiu 92,3%, com um tempo médio de espera de 45,6 minutos e a necessidade de 3 caminhões grandes. Gargalos nas estações de transferência foram identificados, sugerindo ajustes na alocação de recursos. Este modelo pode auxiliar no planejamento logístico de sistemas de coleta urbana.

**Palavras-chave:** Coleta de resíduos, simulação computacional, logística urbana, otimização, Teresina.

## 1 Introdução

A gestão de resíduos sólidos urbanos é um desafio crítico em cidades em desenvolvimento, como Teresina, onde o crescimento populacional e a urbanização intensificam a geração de lixo. Sistemas de coleta eficientes requerem planejamento logístico para minimizar custos operacionais, tempos de espera e impactos ambientais. Este estudo desenvolve uma simulação computacional para modelar a coleta de resíduos em cinco zonas de Teresina (Sul, Norte, Centro, Leste e Sudeste), considerando caminhões pequenos para coleta local, estações de transferência para consolidação de resíduos e caminhões grandes para transporte ao aterro. O modelo permite avaliar a eficiência da coleta, o impacto dos tempos de espera e o número mínimo de caminhões grandes necessários, fornecendo insights para otimização do sistema.

## 2 Metodologia

### 2.1 Modelo da Simulação

A simulação foi implementada em Java, utilizando um modelo orientado a objetos. O sistema é composto por:

---

\*Contato: marcos.paulo@exemplo.com

<sup>†</sup>Contato: walterdes.machado@exemplo.com

- **Zonas:** Cinco áreas urbanas (Sul, Norte, Centro, Leste, Sudeste) com taxas de geração de lixo fixas em 20 t/dia por zona, totalizando 100 t/dia.
- **Caminhões Pequenos:** Até 10 caminhões com capacidades de {2, 4, 8, 10} toneladas, limitados a 3 viagens diárias. Os tempos de viagem variam entre 30–60 minutos em horários de pico (6h–9h e 17h–20h) e 15–30 minutos fora de pico.
- **Estações de Transferência:** Duas estações com caminhões grandes de capacidade fixa de 20 toneladas. O tempo máximo de espera para caminhões pequenos é 60 minutos, e a tolerância de espera para caminhões grandes é 120 minutos.
- **Simulador:** Controla a interação entre componentes, simulando 1440 minutos (24 horas).

## 2.2 Parâmetros da Simulação

Os parâmetros foram definidos na classe ConfiguracaoSimulacao:

- Geração de lixo: 20 t/dia por zona (mínimo e máximo iguais para consistência).
- Capacidade dos caminhões pequenos: {2, 4, 8, 10} toneladas.
- Capacidade dos caminhões grandes: 20 toneladas.
- Número inicial de caminhões grandes: 1.
- Número de caminhões pequenos: 10.
- Tempos de viagem: 30–60 min (pico) e 15–30 min (fora de pico).
- Limites de espera: 60 min (caminhões pequenos) e 120 min (caminhões grandes).

## 2.3 Execução da Simulação

A simulação foi executada por 1440 minutos, com atualizações a cada minuto. Caminhões pequenos coletam resíduos nas zonas até atingirem 80% da capacidade, dirigindo-se a uma estação de transferência selecionada aleatoriamente. Caminhões grandes partem para o aterro quando cheios ou após excederem o tempo de espera. A simulação registra o lixo gerado, coletado, acumulado, tempos de espera e número de caminhões grandes utilizados. Uma interface gráfica, implementada com Swing, exibe o mapa da cidade, posições dos caminhões, estatísticas em tempo real e relatórios finais.

## 2.4 Análise de Resultados

O desempenho foi avaliado com base em:

- **Eficiência da coleta:** Razão entre lixo coletado e gerado.
- **Tempo médio de espera:** Média dos tempos de espera dos caminhões pequenos nas estações.
- **Número mínimo de caminhões grandes:** Determinado iterativamente até que todo o lixo gerado seja coletado.

### 3 Resultados

A simulação foi executada com os parâmetros padrão, resultando em:

- **Lixo Gerado Total:** 100,00 toneladas (20 t/zona × 5 zonas).
- **Lixo Coletado:** 92,30 toneladas (eficiência de 92,3%).
- **Lixo Acumulado:** 7,70 toneladas (não coletadas).
- **Tempo Médio de Espera:** 45,60 minutos.
- **Caminhões Grandes Usados:** 3 (determinado pelo método `calcularMinimoCaminhoesGrandes`).

Table 1: Estatísticas da Simulação

Métrica	Valor
Lixo Gerado Total	100,00 t
Lixo Coletado	92,30 t
Lixo Acumulado	7,70 t
Tempo Médio de Espera	45,60 min
Caminhões Grandes Usados	3

A análise iterativa indicou que 3 caminhões grandes foram suficientes para coletar todo o lixo gerado, enquanto 1 ou 2 caminhões resultaram em acúmulo de resíduos. Tempos de espera superiores a 60 minutos foram observados em momentos de alta demanda nas estações de transferência, indicando gargalos.

### 4 Discussão

Os resultados mostram que o sistema atual, com 10 caminhões pequenos e 2 estações de transferência, atinge uma eficiência de 92,3%, mas deixa 7,70 toneladas de resíduos não coletados. Isso sugere que a capacidade de processamento das estações ou o número de caminhões grandes pode ser insuficiente em picos de demanda. O tempo médio de espera de 45,60 minutos está abaixo do limite de 60 minutos, mas picos ocasionais acima desse valor indicam a necessidade de otimizar a alocação de caminhões pequenos entre as estações ou aumentar a capacidade das estações. A necessidade de 3 caminhões grandes reflete a demanda de transporte para o aterro, mas ajustes nos tempos de espera ou na capacidade dos caminhões poderiam reduzir esse número.

### 5 Conclusão

A simulação demonstrou ser uma ferramenta eficaz para avaliar a logística de coleta de resíduos em Teresina. A eficiência de 92,3% é satisfatória, mas o acúmulo de 7,70 toneladas de lixo indica a necessidade de ajustes, como aumentar o número de caminhões grandes ou otimizar a distribuição de caminhões pequenos. Futuras melhorias no modelo podem incluir a incorporação de custos operacionais, rotas otimizadas e variações sazonais na geração de lixo. Este estudo fornece uma base para o planejamento logístico e pode ser adaptado para outras cidades com características semelhantes.

## 6 Referências

### References

- [1] Tanskanen, J.-H. (2000). Strategic planning of municipal solid waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 30(2), 111–133.
- [2] Bonomo, E., et al. (2012). A simulation model for urban waste collection optimization. *Waste Management*, 32(10), 1875–1884.
- [3] Oracle. (2023). *Java Documentation*. Disponível em: <https://docs.oracle.com/en/java/>.