



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO
AMBIENTAL**

DYEGO ASSIS LOURENÇO

**OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UMA ÁREA
URBANA: O CASO DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE - PB**

CAMPINA GRANDE-PB

2016

DYEGO ASSIS LOURENÇO

**OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UMA ÁREA
URBANA: O CASO DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE - PB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientadores: Dra Andréa Carla Lima Rodrigues

Dra Patrícia Hermínio Cunha Feitosa

Campina Grande-PB

2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

L892o Lourenço, Dyego Assis.
Otimização de rotas de coleta de resíduos sólidos em uma área urbana: o caso da cidade de Campina Grande – PB / Dyego Assis Lourenço. – Campina Grande, 2017.
74 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2016.
"Orientação: Profa. Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues, Profa. Dra. Patrícia Hermínio Cunha Feitosa".
Referências.

1. Resíduos Sólidos. 2. Coleta – Rotas - Otimização. 3. Resíduos Sólidos Domiciliares - Transporte. 4. Resíduos Sólidos – Campina Grande (PB). I. Rodrigues, Andréa Carla Lima. II. Feitosa, Patrícia Hermínio Cunha. III. Título.

CDU 628.312.1(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANITÁRIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

DYEGO ASSIS LOURENÇO

**OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UMA ÁREA
URBANA: O CASO DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE - PB**

Trabalho apresentado ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e
Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para a
obtenção do título de mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Prof^ª. Dr^ª. Andréa Carla Lima Rodrigues
(Orientador – Universidade Federal de Campina Grande)

Prof^ª. Dr^ª. Patrícia Hermínio Cunha Feitosa
(Coorientador – Universidade Federal de Campina Grande)

Prof. Dr. Walter Santa Cruz
(Examinador Interno – Universidade Federal de Campina Grande)


Prof. Dr. Valterlin da Silva Santos
(Examinador Externo – Universidade Federal de Campina Grande)

Campina Grande-PB, 29 de agosto de 2016.

À minha família, pelo apoio e incentivo durante a minha jornada, que sempre apoiaram todas as minhas escolhas.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me dar forças e iluminar meu caminho, não me deixando fraquejar nos momentos de dificuldade.

Aos meus pais, Lúcia de Fátima e Raimundo Lourenço, pelos ensinamentos, pelo carinho e pela dedicação, que me fizeram ser a pessoa que sou hoje.

À minha família, que sempre me apoiou e acreditou em mim.

À Tereza Helena, que esteve ao meu lado, me dando força e me aconselhando nos momentos difíceis.

Aos “supers amigos” e seus familiares, minha segunda família, que sempre fizeram eu me sentir em casa.

Às minhas orientadoras Andréa Rodrigues e Patrícia Hermínio, pelo apoio, pelos ensinamentos e pela paciência, sem os quais esse trabalho não seria possível. Muito Obrigado.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para minha formação.

OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UMA ÁREA URBANA: O CASO DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE - PB

RESUMO

O crescimento desordenado das cidades brasileiras associada à falta de aplicação das políticas nacionais e carência de planejamento na prestação dos serviços de saneamento básico nos municípios, fragilizam a sustentabilidade de um serviço de coleta e transporte de qualidade a ser ofertado pela gestão municipal. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência dos serviços de coleta e transporte de resíduos sólidos domiciliares e comerciais em centros urbanos a partir da otimização de rotas, tomando como base de estudo, os bairros Liberdade e Jeremias. A metodologia deste estudo consiste em utilizar técnicas matemáticas por meio de um algoritmo que é integrado a um software roteirizador, que define a melhor rota, segundo a variável que se quer otimizar; sendo utilizadas nesta pesquisa as variáveis distância, tempo de viagem, topografia e intensidade de tráfego de veículos. Os resultados encontrados reforçam a ideia de que a rota atual de coleta de resíduos necessita de melhor planejamento e de melhorias e que as variáveis da topografia são um aspecto importante a ser considerado. Com a adoção das rotas otimizadas, em detrimento da rota atual de coleta, a empresa responsável pela prestação do serviço poderia ser mais eficiente, realizando a mesma atividade em menor tempo e ainda economizar recursos necessários para a prestação do serviço. Desta forma, com a aplicação dos resultados na prática, a empresa poderia economizar, anualmente, mais de R\$ 15.000,00, apenas utilizando as rotas otimizadas para os dois bairros avaliados. Ao expandir esta análise para toda a cidade, os resultados podem chegar a elevadas reduções de custos anuais e tais economias financeiras podem ser redirecionadas para a melhoria do próprio sistema de gerenciamento de resíduos sólidos da cidade, inclusive voltado às ações de coleta seletiva, que ainda é tão incipiente em Campina Grande.

Palavras-chave: resíduos sólidos; otimização de rotas; custos de transporte.

OPTIMIZATION OF GATERING ROUTES FOR SOLID WASTE SERVICE IN URBAN AREAS

ABSTRACT

The disorderly growth of Brazilian cities, associated with the lack of implementation of policies and the lack of planning in the provision of basic sanitation services in municipalities, the sustainability of a quality collection and transportation service is a municipal management service. The objective of this work is to evaluate the efficiency of solid and commercial solid waste collection and transportation services in urban centers, based on the optimization of routes, based on the study of Liberdade and Jeremias neighborhoods. The methodology of this study consists in using mathematical techniques by means of an algorithm that is integrated in a routing software, which defines a better route, according to the variable to be optimized; Being used in the research as variables of speed, travel time, topography and traffic intensity of vehicles. The results reflect an idea that the current rotation of waste collection needs better planning and improvements and that topography variables are an important aspect to be considered. With the adoption of optimized routes, in detriment of the current route of collection, a company responsible for providing the service could be more efficient, performing the same activity in a shorter time and still save the resources needed for a service rendering. In this way, with an application of the results in practice, a company could save annually more than R \$ 15,000.00, only using as optimized routes for the two evaluated neighborhoods. By expanding this city-wide analysis, results are available at high annual cost reductions, and such financial savings can be redirected to an improvement in the city's own solid waste management system, including targeted selective collection actions, which It's so incipient in Campina Grande.

Keywords: solid waste; route optimization; transportation costs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da cidade de Campina Grande.....	29
Figura 2 - Turnos de coleta de resíduos.....	31
Figura 3 - Zonas geradoras de resíduos	32
Figura 4 - O novo aterro sanitário da cidade de Campina Grande - PB	33
Figura 5 - Fluxograma das etapas metodológicas para obtenção das rotas	34
Figura 6 - Levantamento da rota atual – Adição de paradas sequenciais no Bairro Liberdade	37
Figura 7 - Mapa viário do bairro Jeremias.....	38
Figura 8 - Setores de coleta no bairro Jeremias.....	42
Figura 9 - Declividade do bairro Jeremias.....	43
Figura 10 - Itinerário atual do bairro Liberdade	47
Figura 11 - Itinerário atual do bairro Jeremias.....	48
Figura 12 - Via não transitável pelo veículo coletor.....	49
Figura 13 - Itinerário otimizado do bairro Liberdade.....	52
Figura 14 - Itinerário otimizado do bairro Jeremias	52
Figura 15 – Comparação entre as distâncias (percursos) percorridas nas rotas atuais e otimizadas dos bairros Liberdade e Jeremias	53
Figura 16 - Percursos improdutivos atuais e otimizadas dos bairros Liberdade e Jeremias.....	54
Figura 17 - Tempos de execução do serviço nas rotas atuais e otimizadas para os bairros Liberdade e Jeremias	55
Figura 18 - Rotas atuais e otimizadas dos percursos externos para os bairros Liberdade e Jeremias.....	56
Figura 19 – Tempo de serviço gasto com a rota otimizada para os turnos diurno e noturno do bairro Liberdade	58
Figura 20 - Comparação dos percursos entre as rotas atual e otimizadas no bairro Jeremias.....	60
Figura 21 - Tempo de serviço necessário para a rota atual e rotas otimizadas	62
Figura 22 - Estimativa dos custos mensais para o bairro Liberdade.	63
Figura 23 - Estimativa dos custos anuais para o bairro Liberdade.....	64
Figura 24 - Estimativa dos custos mensais para os percursos externos do bairro Liberdade.	64

Figura 25 - Estimativa dos custos anuais para os percursos externos do bairro Liberdade.	65
Figura 26 - Estimativa dos custos mensais para o bairro Jeremias.	66
Figura 27 - Estimativa dos custos anuais para o bairro Jeremias.	66
Figura 28 - Reduções anuais da área de estudo em reais.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Velocidades utilizadas na Equação 3 em Km/h.	40
Tabela 2 - Atributos de velocidade para o bairro Liberdade em km/h	41
Tabela 3 - Atributos de velocidade para o bairro Jeremias em Km/h	43
Tabela 4 - Rendimento médio de combustível	45
Tabela 5 - Características dos itinerários atuais das áreas de coleta	50
Tabela 6 - Percursos externos dos itinerários atuais.....	50
Tabela 7 - Características dos itinerários otimizados das áreas de coleta.....	53
Tabela 8 - Percursos externos dos itinerários otimizados em Km.....	56
Tabela 9 - Distâncias percorridas e tempo de serviço necessário para a rota atual e as rotas otimizadas.	60
Tabela 10 - Comparativo dos resultados obtidos com as rotas otimizadas 1 e 2 e a rota atual.	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Resíduos sólidos	17
3.1.1 Aspectos gerais: conceito, classificação e caracterização	17
3.2 Gerenciamento de resíduos sólidos	20
3.3 Simulação matemática – roteirização	23
3.4 Custos de transporte	25
3.5 Estudos voltados para a coleta e transporte dos resíduos sólidos	26
4 MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1 Caracterização da área de estudo	28
4.1.1 O município de Campina Grande	28
4.1.2 O bairro da Liberdade - caracterização e coleta de resíduos	29
4.1.3 O bairro do Jeremias - caracterização e coleta de resíduos	30
4.1.4 Gestão de resíduos sólidos urbanos de Campina Grande	30
4.2 O modelo de simulação	34
4.2.1 ArcGIS	34
4.2.2 Levantamento das rotas de coleta	34
4.2.3 Levantamento das rotas atuais	36
4.2.4 Levantamento das rotas otimizadas	38
4.2.5 Liberdade – Volume de Tráfego	40
4.2.6 Jeremias – Topografia	41
4.2.7 Custos variáveis de transporte	44
b) Despesas com combustível (DC)	45

c) Lubrificantes (LB)	46
d) Pneus e recauchutagens (PR)	46
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
5.1 Resultados obtidos com as rotas atuais	47
5.2 Resultados obtidos com a otimização das rotas	51
5.3 Avaliação do turno de coleta de resíduos sólidos domiciliares	57
5.3.1 Avaliação do turno de coleta no bairro Liberdade.....	57
5.3.2 Avaliação dos setores de coleta do Bairro Jeremias	59
5.4 Análise de custos variáveis de transporte	62
5.4.1 Resultado dos custos para o bairro Liberdade	63
5.4.2 Resultado dos custos para o bairro Jeremias	65
6 CONCLUSÕES	68
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1 INTRODUÇÃO

Discussões envolvendo o gerenciamento de resíduos sólidos têm sido frequentes nos últimos anos, tanto em relação à geração descontrolada, associada ao crescimento populacional e ao avanço do padrão social e econômico da população, quanto em relação ao seu tratamento e destinação final, uma vez que os resíduos sólidos possuem características diversificadas.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2008), os serviços de manejo dos resíduos sólidos exercem um forte impacto no orçamento das administrações municipais, podendo atingir 20% dos gastos do município.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (12.305/2010) exige dos estados e municípios a elaboração de Planos de Gerenciamento de Resíduos que tem como objetivo a conformidade com os princípios que norteiam a minimização dos impactos ambientais decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos. Com base nisso, a Lei apresenta metas ousadas que não foram cumpridas como, por exemplo, a desativação dos lixões até o ano de 2014, dando aos resíduos sólidos uma destinação adequada, a exemplo dos aterros sanitários. Por envolverem um alto custo de implantação e operação, têm sido feitos consórcios entre municípios de pequeno porte para que a construção dos aterros se torne viável.

O Brasil tem alcançado significativas melhoras no desenvolvimento econômico das cidades, melhorando a renda das famílias e a qualidade de vida das pessoas. Contudo, em contrapartida, a geração de resíduos que está diretamente relacionada ao consumo, está cada vez mais descontrolada e de difícil solução, gerando maior custo e complexidade para a execução dos serviços de coleta, transporte e destinação final dos mesmos.

No Brasil, a responsabilidade pelo gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares cabe aos municípios, que se mostram, muitas vezes, despreparados por disporem de orçamentos limitados que não condizem com a realidade (BRASILEIRO, 2008). Deste modo, muitas vezes os sistemas de coleta dispõem de uma desqualificação técnica e gerencial dos recursos humanos designados ao setor gerando, em sua maioria, um serviço oneroso e muitas vezes em desconformidade com as questões ambientais.

De forma generalizada, os custos que compreendem a operação de coleta e transporte dos resíduos até a disposição final podem representar cerca de 50% do

orçamento do sistema de limpeza urbana do município (MONTEIRO et al., 2001). Por isso, o estudo de novas alternativas de roteirização da coleta de resíduos sólidos domiciliares e comerciais é um importante mecanismo tanto para redução dos custos relacionados à limpeza urbana, quanto para a melhoria do serviço prestado a população.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Avaliar a eficiência dos serviços de coleta e transporte de resíduos sólidos domiciliares e comerciais em centros urbanos a partir da otimização de rotas.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar as atuais rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares e comerciais nos bairros Jeremias e Liberdade, da cidade de Campina Grande, PB;
- Estudar rotas de coleta alternativas baseadas na redução da distância e tempo com uso de SIG, considerando as restrições do trânsito, capacidade de carga, percursos improdutivos, topografia e carga horária de trabalho;
- Comparar os custos financeiros do serviço de coleta e transporte de resíduos sólidos considerando as rotas, atual e otimizada, da área de estudo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Resíduos sólidos

3.1.1 Aspectos gerais: conceito, classificação e caracterização

A crescente geração de resíduos sólidos tem sido um dos maiores problemas enfrentados pela sociedade nos tempos modernos. Tais resíduos, provenientes das mais diversas atividades humanas (produção industrial, atividades domésticas, comércio, etc.) necessitam de grandes áreas para sua disposição e acarretam inúmeros prejuízos ao meio ambiente, e à população, a exemplo dos problemas de saúde decorrentes principalmente da poluição do ar, da água e do solo (SOUTO et al., 2013).

Existem diversas conceituações para resíduos sólidos. De acordo com a Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), esses podem ser definidos como:

(...) material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL- Lei Federal nº 12.305, 2010, p. 2).

Nesse conceito, aparentemente confuso, os gases e líquidos também são enquadrados como resíduos sólidos. Souto e Povinelli (2013) esclarecem a questão quando afirmam que:

(...) se o gás contido no recipiente não pudesse ser considerado resíduo sólido, ele deveria ser removido completamente do recipiente, o que muitas vezes não é viável. Em um exagero de interpretação legal, até mesmo o ar, que é uma mistura de gases, deveria ser retirado, ou seja, embalagens só poderiam ser descartadas caso se fizesse vácuo dentro delas, o que é um contrassenso. Quanto aos líquidos, o fato de poder considerá-los como resíduos sólidos permite que líquidos perigosos sejam acondicionados em tambores e dispostos em aterros de resíduos industriais. Por fim, o termo "semissólido" permite que os lodos de estações de tratamento de água (ETAs) e de tratamento e de tratamento de esgoto (ETEs) sejam gerenciados como resíduos sólidos e, como tais, dispostos em aterros (desde que atendidos determinados requisitos) (SOUTO & POVINELLI, 2013, p 566).

Outro conceito, proposto pela ABNT, por meio da NBR nº 10.004, de 2004, define resíduos sólidos como:

(...) resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividade de origem industrial, doméstica, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes dos sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis face à melhor tecnologia disponível (ABNT, NBR nº 10.004/2004, p. 1).

A lista de resíduos sólidos gerados pelas atividades antrópicas é bastante ampla, podendo estes acarretarem vários problemas para qualidade ambiental se forem geridos de forma inadequada.

Deste modo, para que ocorra a destinação apropriada de um determinado tipo de resíduo, é importante conhecê-lo previamente, pois com base nas suas características, serão classificados. Essa classificação é importante para o planejamento e gestão eficiente dos resíduos sólidos.

De acordo com a PNRS (BRASIL- Lei Federal nº 12.305, 2010), quanto à origem, os resíduos sólidos são classificados em:

- **Domiciliares:** originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- **Resíduos de limpeza urbana:** os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- **Resíduos sólidos urbanos:** engloba os resíduos domiciliares e os de limpeza urbana;
- **Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços:** os originários de estabelecimentos comerciais;
- **Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico:** originários dos serviços de saneamento básico;
- **Resíduos industriais:** os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- **Resíduos de serviços de saúde:** os gerados nos serviços de saúde;

- **Resíduos da construção civil:** os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- **Resíduos agrossilvopastoris:** os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- **Resíduos de serviços de transportes:** os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira; e,
- **Resíduos de mineração:** os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Em relação aos riscos de contaminação ao meio ambiente e à saúde pública, a NBR nº 10.004/ 2004 divide os resíduos em duas classes:

Classe I – Perigosos: engloba aqueles que em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade apresentam riscos à saúde pública por meio do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada;

Classe II A - Não inertes: compreende os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente; e,

Classe II B – Inertes: abrange aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente.

Outro aspecto importante é a caracterização dos resíduos sólidos, pois, é por meio dela que serão calculadas as variáveis essenciais para o dimensionamento correto de todas as etapas que compreendem o gerenciamento dos resíduos, ou seja, desde a geração até a disposição final.

Conforme a NBR n.º 10.004/2004, os principais parâmetros para caracterizar fisicamente os resíduos sólidos são: geração per capita, composição gravimétrica, peso específico aparente, teor de umidade e a compressividade.

A "**geração per capita**" relaciona a quantidade de resíduos urbanos gerada diariamente e o número de habitantes de determinada região.

A **composição gravimétrica** traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de lixo analisada.

O **Peso específico aparente** é o peso do lixo solto em função do volume ocupado livremente, sem qualquer compactação, expresso em kg/m³.

O **Teor de umidade** representa a quantidade de água presente no lixo, medida em percentual do seu peso. Este parâmetro se altera em função das estações do ano e da incidência de chuvas, podendo-se estimar um teor de umidade variando em torno de 40 a 60%.

A **Compressividade** é o grau de compactação ou a redução do volume que uma massa de lixo pode sofrer quando compactada (MONTEIRO et al., 2001).

A classificação e as características dos resíduos sólidos são fundamentais para a escolha adequada dos veículos de transporte e para o dimensionamento dos equipamentos, bem como das unidades de destinação final.

3.2 Gerenciamento de resíduos sólidos

A geração de resíduos é uma constante na vida dos seres humanos e, por esta razão, sempre ocorrerão impactos sobre o meio ambiente. O desenvolvimento econômico e a evolução tecnológica reduzem a vida útil dos produtos e contribuem para a geração de grande quantidade de resíduos descartados na natureza (DOMINGOS e BOEIRA, 2015).

Neste contexto, busca-se a minimização dos impactos ambientais negativos através de um gerenciamento eficiente de resíduos. Esse gerenciamento é definido como um conjunto de ações concatenadas e aplicadas aos processos de geração, acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos (BRASIL, 2014).

O acondicionamento é a etapa que antecede a coleta, sendo necessário que os resíduos, de acordo com suas características, sejam acomodados em coletores adequados. A NBR 12.235 estabelece condições para o armazenamento de resíduos sólidos perigosos (Classe 1) de forma a proteger a saúde pública e o meio ambiente. A NBR 11.174 fixa as condições para obtenção das condições mínimas necessárias ao armazenamento de resíduos não perigosos. O acondicionamento correto é importante para que se tenha eficiência e segurança nas etapas de coleta e transporte.

Em relação ao transporte de resíduos sólidos, a NBR 13.221 estabelece os requisitos para o transporte terrestre, de modo a evitar danos ao meio ambiente. Esta norma aborda, inclusive, aqueles materiais que possam ser reaproveitados, reciclados e/ou reprocessados. Aplica-se também aos resíduos perigosos segundo a definição da Convenção da Basileia que foi adotada pelo Brasil em 1992.

Segundo o Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (2011), realizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, os tipos mais comuns de veículos utilizados para a coleta de resíduos sólidos domiciliares e públicos do Brasil são os caminhões do tipo basculante, carroceria ou baú, cujo conjunto responde por 43,9% da frota informada, seguido dos caminhões compactadores que chegam a 38,5% do total. Os 17,6% restantes correspondem aos demais tipos de veículos, dos quais destaca-se o trator agrícola com reboque com 11,6%, seguido dos caminhões “brook” (poliguindastes) e das carroças de tração animal. Em último vêm as embarcações com 1,0% da quantidade total de veículos apurada.

De forma geral, os veículos do tipo basculante, carroceria ou baú, são os mais utilizados no processo de coleta e transporte de resíduos no Brasil, apesar dos caminhões compactadores serem os mais indicados por apresentarem maior segurança no transporte dos resíduos, menor possibilidade de derramamento do lixo ou do chorume na via pública, boa taxa de compactação e oferecerem melhores condições de trabalho para os garis. Embora, mesmo com todas essas vantagens, o que provavelmente justifica a não priorização do veículo compactador é a sua difícil manutenção e o elevado preço da carroceria compactadora (MONTEIRO et al., 2001).

Segundo Pereira et. al. (2013) alguns sistemas de gerenciamento, durante a etapa de transporte, dispõem de uma estação de transferência de resíduos. Tal instalação é localizada geograficamente em pontos estratégicos, de forma que busque a melhoria da eficiência logística do transporte. Assim, os resíduos são transferidos diretamente ou indiretamente para veículos com uma maior capacidade de carga que, dependendo do tipo de resíduo, podem ser encaminhados para um aterro sanitário, incineradora, usina de compostagem, dentre outros.

As estações de transferência de resíduos estão cada vez mais presentes nos atuais sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos. Apesar das vantagens financeiras e logísticas de tais unidades, deve-se analisar a sua viabilidade de

implantação através da avaliação de custo com o transporte e com a construção e manutenção da estação de transferência (PEREIRA et al., 2013).

Após a etapa de transporte, um bom gerenciamento de resíduos sólidos contempla a destinação ambientalmente correta que, segundo Souto e Povinelli (2013) compreende o encaminhamento do resíduo para reutilização, reciclagem, compostagem, aproveitamento energético, disposição final, ou outras destinações admitidas pelo poder público, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e minimizar os impactos ambientais negativos. O termo, portanto, se aplica a todos os tipos de resíduos.

Em relação aos tipos de destinação final dos resíduos utilizados pelos municípios brasileiros, de acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil de 2014 realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), 58,4% dos municípios utilizam aterro sanitário, 24,2% aterro controlado e 17,2% o lixão.

Diante do exposto, nota-se que grande parte dos resíduos gerados nos municípios estão sendo destinados, de acordo com a Lei 12.305/2010, de forma ambientalmente inadequada, pois a lei considera como corretas: a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a Incineração, a biodigestão e o aterro sanitário.

Este último é considerado, atualmente a forma mais adequada de disposição final de resíduos sólidos. Entende-se por aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos, conforme a NBR nº 8.419/1992, da ABNT, a:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário (ABNT, NBR nº 8.419/1992, p. 1).

O aterro sanitário é uma obra de engenharia projetada sob critérios técnicos, cuja finalidade é garantir a disposição dos resíduos sólidos urbanos de forma a minimizar danos à saúde pública e ao meio ambiente. É considerada uma das técnicas mais eficientes e seguras de destinação de resíduos sólidos, pois permite um controle eficiente e seguro do processo e quase sempre apresenta a melhor relação custo-benefício. Pode receber e acomodar vários tipos de resíduos, em

diferentes quantidades, e é adaptável a qualquer tipo de comunidade, independentemente do tamanho (IBAM, 2007).

A implantação da destinação final adequada dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, estabelecida, pela Lei 12.305/2010, para acontecer até agosto de 2014, não avançou como o esperado, uma vez que o percentual de resíduos encaminhados para aterros sanitários apresentou apenas um pequeno crescimento, de 57,6%, em 2010 para 58,4%, em 2014. Por outro lado, a destinação ambientalmente incorreta cresceu em cerca 30 milhões de toneladas por ano, em 2014 (ABRELPE, 2014).

Segundo a ABRELPE (2013), na Paraíba são gerados por dia 3.405 toneladas de resíduos sólidos, dos quais 81% são coletados. Do percentual coletado, 36,9% são destinados a aterros controlado, 32,2 % são depositados em lixões e apenas 30,9% tem o aterro sanitário como destinação final. Esses dados sugerem que a Paraíba ainda precisa avançar no gerenciamento de resíduos, principalmente em relação à coleta e destino final.

No que diz respeito ao arcabouço legal, até a presente data, o estado da Paraíba ainda não possui uma lei específica para os resíduos sólidos, no entanto, esta se encontra em fase de elaboração.

O município de Campina Grande possui meios que regulam os serviços de resíduos sólidos. Dentre esses, se destacam os mais importantes, como: Lei Orgânica Municipal. Código de Meio Ambiente, Código de Posturas e Código de Obras. Esses meios legais são muito utilizados quanto aos aspectos na Política de Resíduos Sólidos.

Mais recentemente, no ano de 2015, foi elaborado o Plano Municipal de saneamento do básico de Campina Grande que realizou um diagnóstico da situação dos resíduos sólidos no município e, a partir dele, estabeleceu, programas, projetos e ações a serem desenvolvidos, nesta vertente, em um prazo de 20 anos.

3.3 Simulação matemática – roteirização

A simulação matemática tem como principal vantagem a sua flexibilidade, pois permite que um determinado sistema seja representado matematicamente por meio de modelos computacionais.

Outra característica é que os problemas podem ser analisados de acordo com a exigência do pesquisador, no entanto, sua principal desvantagem é que a técnica

de simulação não disponibiliza a restrição do espaço decisório, logo, a solução otimizada dos problemas é alcançada por meio do processo de tentativa e erro (GABRIEL et al., 2002).

Segundo Gabriel et al. (2002), os modelos de simulação fornecem a resposta de um sistema a um conjunto de informações de entrada, que incluem regras de decisão, permitindo, ao analista, examinar as consequências de diversos cenários de um sistema existente ou de um sistema em projeto.

A simulação matemática permite observar as situações de acordo com suas peculiaridades, bem como determinar alternativas ótimas por meio da modelagem dos diversos cenários possíveis.

A roteirização de veículos é um tipo de simulação matemática, que tem como objetivo definir uma ou mais rotas a serem percorridas por veículos de uma frota, passando por locais que devem ser visitados (BRASILEIRO, 2004).

A otimização de rotas de veículos são representadas por meio de problemas de roteamento em arcos, que tem como objetivo determinar um circuito de custo mínimo em um subconjunto de arcos de um grafo, de forma que todos os arcos deste subconjunto sejam percorridos pelo menos uma vez e que possa, ou não, haver restrições na rede. Estes problemas surgem em diversos contextos práticos onde há a necessidade de otimizar a rota como, por exemplo, na entrega de cartas, na coleta do lixo doméstico, na varrição e lavagem de ruas, na inspeção de redes elétricas, ou seja, naquelas situações em que seja necessário percorrer toda a rede. (PAES, 2004).

Dentre os principais problemas de roteamento em arcos pode-se citar o Carteiro Chinês (PCC) que, de acordo com o tipo de questão que se pretende otimizar, classifica-se em: Carteiro Chinês Não Direcionado (PCCND), Carteiro Chinês Direcionado (PCCD) e Carteiro Chinês Misto (PCCM) (PAES, 2004).

O PCC trata de casos onde não são encontradas soluções para o problema como, por exemplo, o caso de um caminho fechado que percorra uma única vez cada aresta. Tal caso objetiva definir um caminho que tenha um comprimento mínimo e que cubra cada arco ao menos uma vez. Este problema foi descrito simplificadaamente por Guan (1962): “Um carteiro tem de cobrir sua rota e depois retornar ao Posto de Correio. O problema é encontrar a menor distância a ser percorrida pelo carteiro” (KONOWALENKO, 2012).

Assim, para a otimização de rotas de coleta domiciliar, utiliza-se como base o Problema do Carteiro Chinês Misto (PCCM), uma vez que as ruas podem ou não ter um direcionamento, ou seja, vai depender dos sentidos de circulação do trânsito permitidos de um determinado local a ser analisado.

Os problemas de roteamento em arcos em relação à otimização de rotas de coleta domiciliar teve como principal pioneiro Beltrami e Bodin (1974) que abordaram os aspectos conceituais dos Problemas de Roteirização em Arcos com as aplicações de ordem prática, mais especificamente no serviço de coleta de resíduos na área urbana de Nova York.

As rotas dos veículos podem ser determinadas empregando técnicas não matemáticas ou matemáticas. As técnicas não matemáticas são aquelas determinadas de forma empírica, ou seja, por meio de experiências vividas no processo de coleta e transporte. As técnicas matemáticas utilizam um algoritmo que é integrado a um software roteirizador. Esse software define a melhor rota, segundo a variável que se quer otimizar como, por exemplo, a distância ou tempo de viagem (BRASILEIRO & LACERDA, 2008).

Existem softwares que além de determinarem a rota, permitem uma melhor visualização dos dados, já que produzem um mapeamento computadorizado e, por essa razão, são denominados de SIG (Sistema de Informações Geográficas). O SIG utilizado em problemas de transporte é chamado de SIG-T (BRASILEIRO & LACERDA, 2008).

Existem vários softwares que têm a possibilidade de desenvolver análises de rotas, no entanto, os que são mais utilizados são: spring, arcGIS e o transCAD, pois oferecem um conjunto de ferramentas capazes de desenvolver vários tipos de problemas.

3.4 Custos de transporte

Os dados trazidos pelo Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, em 2014, mostram que a geração de resíduos tende a crescer a cada ano, e conseqüentemente, aumenta a demanda por serviços de logística, infraestrutura e, principalmente, recursos humanos e financeiros.

Entre 2010 e 2014, a produção de resíduos cresceu 29%, a cobertura dos serviços de coleta passou de 88,98% para 90,68% e a quantidade de postos de

trabalho diretos subiu mais de 18% (ABRELPE, 2014). Neste panorama, os estudos de roteirização tem grande importância para o planejamento do sistema de coleta domiciliar, uma vez que os mesmos proporcionam a redução dos custos.

Os custos de transporte dos resíduos sólidos urbanos conseguem se destacar justamente pela quantidade de insumos e serviços que incluem todo o segmento. No âmbito rodoviário, de acordo com o Manual de Cálculo de Custos e Formação de Preços do Transporte Rodoviário de Cargas (2014), realizado pelo Departamento de Custos Operacionais (Decope), os preços de transporte estão relacionados com os custos fixos e variáveis. Os primeiros correspondem às despesas operacionais dos veículos que não variam com a distância percorrida, isto é, continuam existindo, mesmo com o veículo parado. Já os custos variáveis correspondem às despesas que variam com a distância percorrida pelo veículo, ou seja, que não ocorrem caso o veículo permaneça na garagem.

A estimativa dos custos variáveis de transporte é bastante interessante para trabalhos que envolvam análises logísticas de transporte, já que permite comparar os custos atrelados para a realização do serviço atual com os do serviço otimizado. Deste modo, com a estimativa dos custos variáveis de transporte é possível obter uma noção do que se pode economizar, melhorando assim os processos atuais.

Os custos podem ser minimizados se a rota percorrida pelo veículo for reduzida ou se o tempo gasto no trajeto for minimizado. A viabilidade de uso de novas rotas de coleta de lixo em zonas urbanas visando, entre outros aspectos, a redução de custos pode ser obtida por meio da simulação matemática, como já abordado anteriormente.

3.5 Estudos voltados para a coleta e transporte dos resíduos sólidos

A busca cada vez maior por economia e eficiência nos serviços de coleta e transporte de resíduos sólidos tem atraído a atenção de pesquisadores para o desenvolvimento de técnicas de roteirização e também para análise das técnicas e rotas já existentes.

- Brasileiro e Lacerda (2008) analisaram o uso de um SIG como ferramenta para roteirização de veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares,

utilizando como software o TransCAD, para a cidade de Ilha Solteira, no estado de São Paulo;

- Ribeiro e Machado (2009) descreveram o processo de transporte e roteirização para a implantação da coleta seletiva dos resíduos sólidos em um município do estado de Minas Gerais, apresentando as decisões de transporte tomadas no processo;
- Lima et al. (2012) utilizaram o SIG como ferramenta para a roteirização do sistema de coleta resíduos sólidos urbanos (RSU) para a cidade de Itajubá, em Minas Gerais, simulando no SIG cenários de roteirização nos setores de coleta, utilizando a rotina de roteirização em arcos do SIG;
- Martins et. al (2014) determinaram uma rota ótima de coleta de resíduos sólidos e seus respectivos pontos de coletas, dos domicílios do centro da cidade de Sousa, no Sertão Paraibano, utilizando técnicas de programação matemática e a ferramenta computacional Solver do Excel 2010 e o SIG, Google Earth, para roteirização;
- Jacinto et al. (2014) propuseram uma heurística para solução do problema da coleta de resíduos sólidos domésticos com base no Problema do Carteiro Chinês Capacitado com Múltiplas Viagens (PCCC-MV), realizando uma aplicação prática junto ao município de Cariacica, no estado do Espírito Santo;
- Melquiades et al. (2014) apresentaram um modelo matemático para a modelagem da roteirização da coleta dos resíduos sólidos urbanos, para o Brasil e Peru.

Os trabalhos citados apresentaram resultados satisfatórios, especialmente no que diz respeito às possíveis reduções de tempo de serviço e percurso, gerando economias para os prestadores de serviço e aumentando a eficiência do serviço prestado à população atendida.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

4.1.1 O município de Campina Grande

O município de Campina Grande localiza-se na região do Agreste paraibano, parte oriental do Planalto da Borborema, na serra do Boturité/Bacamarte, e está distante 120 km da Capital da Paraíba. Possui uma altitude média de 551 metros acima do nível do mar e uma área territorial que abrange 594,2 km², (IBGE, 2010).

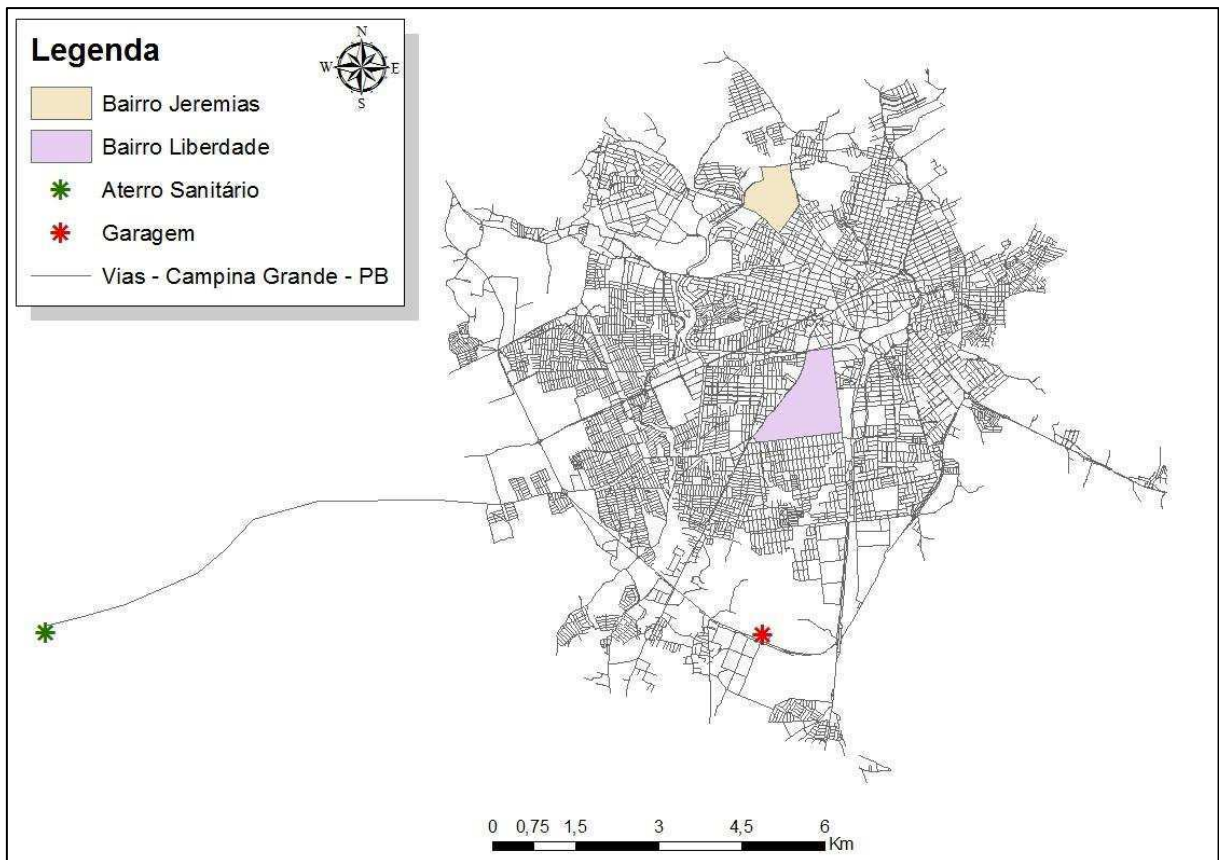
Segundo censo 2010 do IBGE, mais de 385 mil pessoas residem no município, que tem uma densidade demográfica de 648,31 habitantes por km². Deste total, cerca de 355 mil pessoas residem na sede do município (92,18%), enquanto que 30 mil (7,82%) residem nos outros distritos. Ainda segundo o IBGE, 367 mil pessoas residem na área urbana (95,33% e 18 mil (4,67%) residem em área rural (IBGE, 2010).

A topografia de Campina Grande é suavemente ondulada e apresenta um relevo com curvas de nível variando entre 500 m e 600 m acima do nível médio de mar. A cidade possui 63% de área montanhosa, 35% de área ondulada e 2% de área plana (ECOSAM, 2014).

A bacia hidrográfica é formada pelo riacho Bodocongó, afluente do rio Paraíba que corta a cidade no sentido norte-sul, o riacho do Catolé, afluente do rio Paraíba e o rio Ingá, também afluente do rio Paraíba (ECOSAM, 2014).

A área de estudo (Figura 1) engloba os bairros Liberdade e Jeremias, contemplando também as vias que ligam as áreas de coleta ao aterro sanitário.

Figura 1 – Mapa da cidade de Campina Grande



Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.2 O bairro da Liberdade - caracterização e coleta de resíduos

Localizado na zona sul da cidade de Campina Grande, com uma população de 15.836 habitantes (IBGE, 2010) e abrangendo uma área de 1,5 km², o bairro Liberdade é um bairro residencial/comercial com consequente geração de resíduos sólidos classificados em domiciliares e comerciais, sendo necessários dois caminhões para atender a coleta.

A coleta é realizada durante o dia, geralmente inicia-se às 07h30min podendo se estender até às 18h00min, e ocorre três vezes por semana - nas terças, quintas e sábados. Segundo a empresa prestadora do serviço de coleta de resíduos (Light Engenharia), são necessárias várias horas para o serviço ser efetivado, devido às condições de trânsito que são consideradas mais acentuadas no período diurno. Portanto, esses são os motivos que justificam a escolha deste bairro para o estudo.

4.1.3 O bairro do Jeremias - caracterização e coleta de resíduos

Localizado na zona norte da cidade de Campina Grande, com uma população de 10.629 habitantes (IBGE, 2010) e abrangendo uma área de 0,78 km², o bairro Jeremias apresenta um resíduo predominantemente domiciliar. A coleta é diurna e realizada três vezes por semana - nas segundas, quartas e sextas. Para este serviço, é utilizado um caminhão coletor, sendo necessárias duas viagens para a conclusão do serviço.

O critério utilizado para escolha deste bairro está na dificuldade logística para a realização do serviço, devido às condições ambientais do bairro como, por exemplo, destacam-se a topografia, a qualidade das vias e os trechos não transitáveis pelo caminhão coletor.

4.1.4 Gestão de resíduos sólidos urbanos de Campina Grande

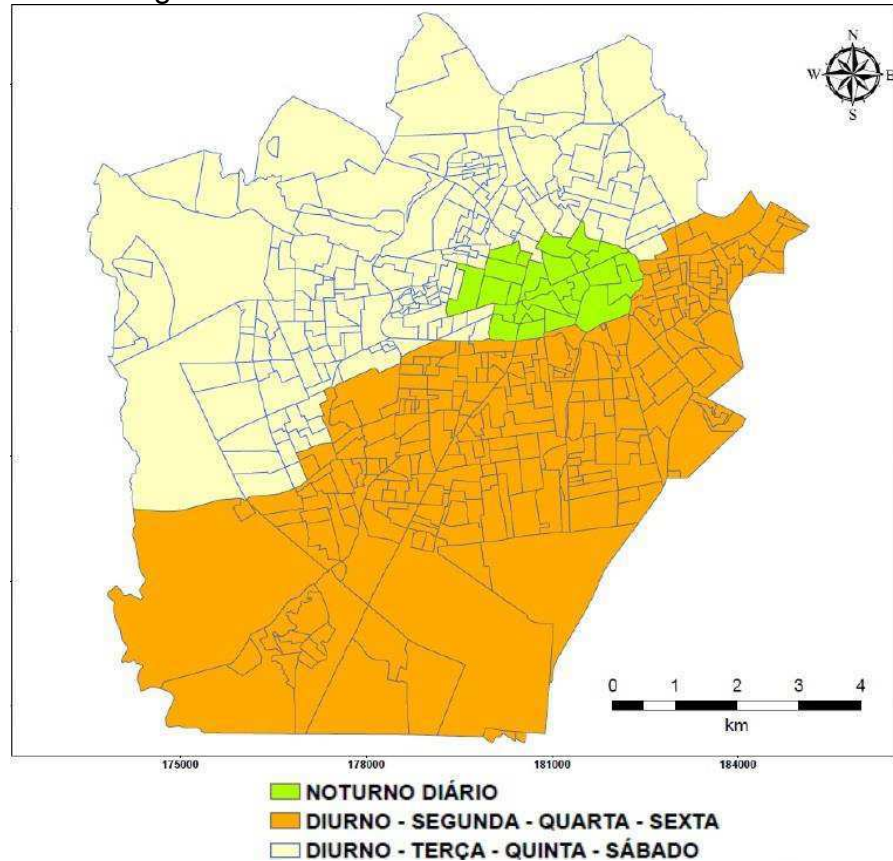
A gestão de resíduos sólidos em Campina Grande é caracterizada como mista, ou seja, parte dos serviços é realizada diretamente pela prefeitura e a outra parte, como os serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliares e a disposição final dos resíduos sólidos urbanos, é executada por empresas terceirizadas.

Os serviços de varrição, capinação, recolhimento de animais mortos, coleta de podas de árvores, coletas especiais, limpeza de córregos, limpeza de feiras livres, limpeza de terrenos baldios, limpeza dos sistemas de drenagem, pintura de meio fio, limpeza de cemitérios, praças e áreas verdes são realizados pela prefeitura. A coleta dos resíduos de serviços de saúde, resíduos industriais, resíduos da construção civil e de grandes geradores é de responsabilidade do próprio gerador. A coleta dos resíduos domiciliares é realizada pela Light Engenharia Ltda e a disposição final dos resíduos gerida pela Ecosolo Gestão Ambiental de Resíduos LTDA.

O serviço é executado nos seguintes turnos (Figura 2): diurno para quase todos os bairros durante três vezes por semana de forma alternada, exceto os bairros Centro, Prata e parte do Monte Santo, nos quais ocorre no período noturno de segunda a sábado. Segundo a empresa, a execução da coleta noturna não apresenta grande complexidade visto que, as condições do trânsito e o volume a ser coletado favorecem aos trabalhadores desses setores. O preço pago pela prefeitura

à empresa encarregada pela execução do serviço de coleta e transporte é R\$ 79,50 por tonelada com uma média mensal de coleta de resíduo domiciliar de 7.230 toneladas e geração per capita de 900 gramas/habitante dia.

Figura 2 - Turnos de coleta de resíduos



Fonte: Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de Campina Grande – PB

Para o serviço de coleta e transporte, a empresa dispõe de uma frota de 14 caminhões da marca Mercedes-Benz, todos equipados com carrocerias compactadoras com volumes de carga de 15, 22 e 27 m³ e com um Sistema de Posicionamento Global (GPS – Sistema SASCAR) que tem o objetivo de auxiliar no monitoramento do serviço de coleta.

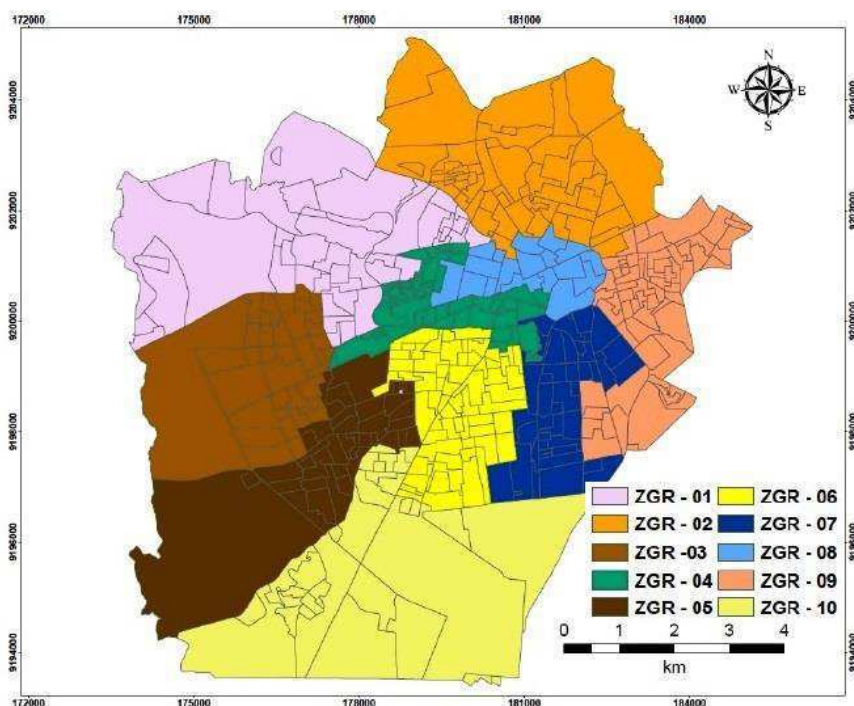
A empresa conta com 125 funcionários que desempenham diferentes funções, sendo estes distribuídos nos setores de coleta e transporte de resíduos e administração. Na coleta e transporte de resíduos, são alocados cinco funcionários por caminhão: um motorista e quatro garis. Estes funcionários recebem adicional de insalubridade, em cumprimento com a NR-15 (Norma do Ministério do Trabalho e

Emprego), que determina que profissionais que desempenham atividades insalubres (que podem acarretar riscos a saúde do indivíduo) devem ter um adicional em seu salário base. Na empresa, os garis recebem um adicional de insalubridade de grau máximo (40%) e os motoristas um adicional de insalubridade de grau médio (20%). Existe ainda outro adicional para os funcionários que realizam a coleta no período noturno.

Segundo a empresa, todos os bairros são amparados pelo sistema de coleta. No entanto, em algumas ruas não é possível a passagem do caminhão coletor, nestes casos, os moradores das ruas depositam os seus resíduos em locais próximos que são viáveis à passagem do coletor.

O sistema de coleta é baseado no roteiro clássico da prefeitura, com algumas alterações decorrentes das modificações do trânsito, da acessibilidade das ruas e da criação de novos bairros. O sistema de coleta da cidade é organizado, de forma geral, em zonas geradoras de resíduos (Figura 3), cada zona é subdividida em setores de coleta, que correspondem a uma viagem do caminhão coletor. As rotas dos setores de coleta são definidas pelos motoristas e pelas experiências práticas acumuladas ao longo dos anos pelos funcionários, ou seja, as rotas atuais utilizadas pela empresa são todas empíricas, uma vez que não houve nenhum estudo prévio que avaliasse parâmetros como redução de quilometragem e de tempo de percurso.

Figura 3 - Zonas geradoras de resíduos



Fonte: Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de Campina Grande - PB

No tocante à disposição final de resíduos sólidos, a cidade de Campina Grande – PB utilizou, durante vários anos, um terreno localizado dentro dos limites da cidade, onde depositava, a céu aberto, todo o resíduo recolhido, configurando-se como um lixão. Segundo Leite; Prasad; Lopes (2003), a área do “lixão” da cidade foi utilizada desde 1996 e de acordo com Secretaria de Serviços Urbanos e Meio Ambiente (SESUMA) o lixão foi desativado em janeiro de 2012, ou seja, os resíduos foram dispostos sem nenhum tratamento durante 16 anos em uma área de 35 hectares, localizado na alça sudoeste da cidade, rodovia BR 230, cerca de 8 km do centro urbano.

Após a desativação do lixão, os resíduos foram encaminhados para o aterro sanitário da cidade de Puxinanã – PB, localizado a 20 km de Campina Grande. No entanto, em julho de 2015 a prefeitura de Puxinanã interditou o aterro sanitário, alegando diversas irregularidades técnicas no empreendimento. Em vista disso, os resíduos passaram a ser encaminhados para um novo aterro sanitário, situado na zona rural do município, cerca de 10 km de Campina Grande. O novo aterro (Figura 4) tem uma área de 90 hectares e está licenciado para funcionamento até 15 de abril de 2017. O preço para a destinação no novo aterro se manteve igual ao anterior, R\$ 35,67 por tonelada.

Figura 4 - O novo aterro sanitário da cidade de Campina Grande - PB



Fonte: Paraíba Agora

4.2 O modelo de simulação

4.2.1 ArcGIS

A plataforma ArcGIS é um sistema de informações geográficas produzido pela ESRI (*Environmental System Research Institute*), constituído por um conjunto integrado de *softwares* que dispõem de ferramentas de análise espacial, manipulação, processamento de dados, mapeamento, dentre outros.

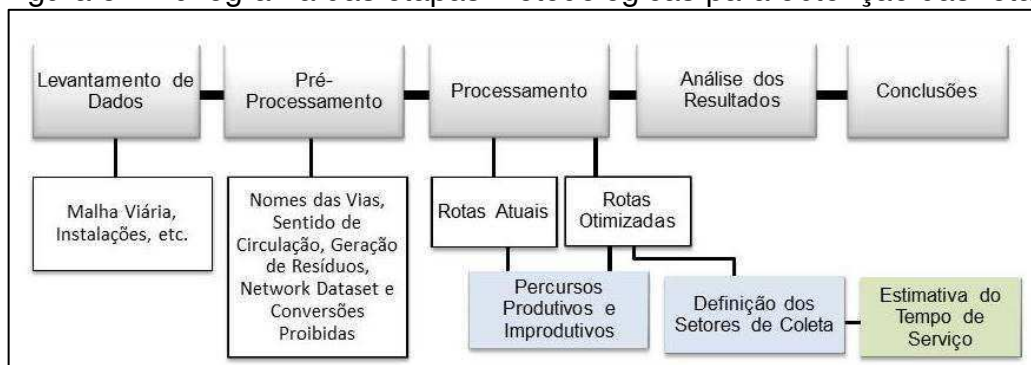
De forma geral, este trabalho utilizou os seguintes *softwares* da plataforma ArcGIS:

- *ArcCatalog 10.3* – utilizado para a organização e o gerenciamento dos dados;
- *ArcMap 10.3* – considerado o principal componente do ArcGIS, nele é possível realizar diversas atividades de análise espacial de acordo com as pretensões do analista.
- *Analista de rede (Network Analyst) 10.3* – fornece ferramentas de análise espacial baseadas em rede, objetivando a resolução de vários tipos de problemas de roteirização de veículos como, por exemplo, a otimização de rotas de coleta de resíduos domiciliares, ou seja, a busca pelo caminho que considere todos os arcos de uma rede. Para isso, a extensão *Network Analyst* utiliza o algoritmo de Dijkstra que calcula o caminho de custo mínimo entre vértices de um grafo.

4.2.2 Levantamento das rotas de coleta

As etapas da metodologia adotada para o levantamento das rotas atuais, bem como das rotas otimizadas estão resumidas na Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma das etapas metodológicas para obtenção das rotas



Fonte: Elaborado pelo autor

Para a otimização de rotas de transporte, antes de tudo, é essencial o mapa viário da área de interesse. Deste modo, o mapa viário de Campina Grande – PB foi obtido por meio da Secretaria Municipal de Planejamento (SEPLAN). Esse mapa contém diversas informações, tais como: nome do logradouro, bairro, tipo de logradouro, sentidos de circulação permitidos, tipo de pavimento, rede de energia, árvores, lixeira pública, hidrante entre outros.

Por meio do *ArcMAP*, as polilinhas que representam as ruas da área de interesse foram modificadas e associadas aos seguintes atributos: *object*, logradouro (*name*), comprimento (*meters*), sentido de circulação permitido (*oneway*) e quantidade de resíduo gerado (*cost*).

O campo *object* representa os números de identificação de cada arco. O campo *meters* representa o comprimento em metros de cada arco da área de interesse. O campo *oneway* estabelece os sentidos de circulação das vias, portanto, as que têm um único sentido devem ser os valores FT (*From To*) e TF (*To From*). Ambos os valores indicam que o arco possui mão única. A escolha entre eles é de acordo com o sentido do arco. FT indica que é permitido percorrer o arco do início para o fim. TF é o oposto, indicando que só é permitido percorrer o arco do ponto final para o inicial. Para os arcos onde é possível deslocar-se em ambos os sentidos deve-se deixar em branco. Naqueles onde não é permitido o tráfego coloca-se o valor N.

Como não se tem informações sobre a geração de resíduos de cada via, foi utilizado o método de Castro e Faria (2007). Segundo esse método é utilizada a média de resíduos gerados da área de coleta por metro linear, ou seja, a geração de resíduos (Kg) divididos pelo somatório do comprimento dos arcos que são viáveis para a passagem do caminhão coletor. Em vista disso, o campo *cost* estima a geração de resíduos (Kg) para cada arco que representa uma rua geradora por meio da Equação 1.

$$Cost = \frac{(Pop * GP * i)}{x} \quad (1)$$

Onde: *Cost* = geração de resíduos da área de coleta;

Pop = população da área de coleta,

GP = geração per capita de Campina Grande - PB;

i = representa o número de dias em que não houve coleta;

x = somatório em metros dos arcos viáveis a passagem do caminhão.

A estimativa da geração de resíduos para uma área de coleta é importante porque é por meio dessa informação que são dimensionados os setores de coleta. Logo, os setores de uma área de coleta correspondem ao número de viagens necessárias para que o serviço seja realizado por completo.

Depois de serem realizadas todas as devidas modificações, inserções e ajustes no banco de dados, que representavam as ruas das áreas de interesse (bairros Jeremias e Liberdade), as shapefiles (arquivos vetoriais da ESRI) estavam prontas para serem transformadas em um novo conjunto de dados de rede (*Network dataset*) incluindo as “vias” e “conversões proibidas”. Feito isso, a rede foi construída e constituída dos seguintes arquivos: “vias_ND” que são os arcos da rede e “vias_ND_junctions” que são os nós que fazem a conectividade entre os arcos.

Os dados de manobras proibidas foram obtidas com o auxílio do *google street*, uma vez que, no arquivo geográfico cedido pela SEPLAN, não dispõem de tais informações. Por fim, com a extensão *network analyst* ativada, os processos de obtenção das rotas atuais e das rotas otimizadas foram iniciadas.

4.2.3 Levantamento das rotas atuais

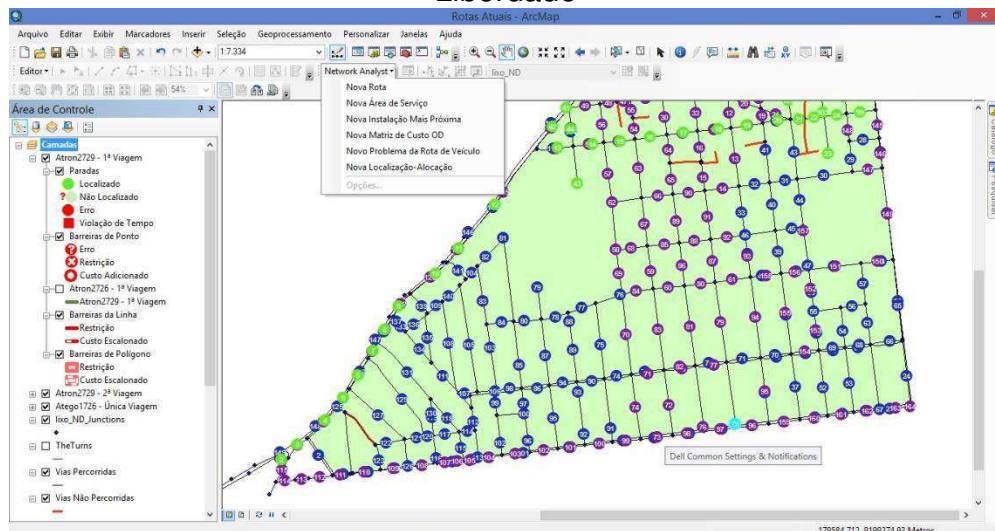
Para o levantamento das rotas atuais, utilizou-se um sistema de monitoramento dos caminhões (Sistema SASCAR) que a empresa prestadora do serviço de coleta dispõe. O sistema funciona por meio de um rastreador instalado no veículo e dos sinais GPS que interligados com sistemas e mapas, permitem a disponibilização de um relatório com as seguintes informações: horários, velocidade e localização geográfica.

Por meio do horário é possível saber a hora exata do início e do fim do serviço de coleta e, conseqüentemente, o tempo total utilizado para executar o serviço por completo nas áreas de interesse. A velocidade é outra informação importante, visto que, quando a velocidade do caminhão está abaixo de 10 km/h, entende-se que está sendo executado o serviço de coleta, as velocidades maiores

indicam os percursos improdutivos, isto é, quando o caminhão não está executando o serviço.

A localização geográfica (latitude/longitude) do caminhão coletor é registrada a cada minuto, desse modo, foi possível fazer o levantamento de toda a rota atual. Utilizou-se o *google maps* para observar as ruas percorridas pelo caminhão, e com base nessa informação, foi criada uma rota no ArcMap (*network analyst*) adicionando “paradas” sequencialmente ao longo dos arcos. A Figura 6 trás um exemplo do procedimento de levantamento das rotas atuais para o bairro Liberdade, para o bairro Jeremias foi utilizado também o mesmo procedimento. Após concluída essa etapa, chegou-se a rota atual em quilômetros. O analista de rede gera ainda um relatório contendo as direções (nome das ruas) que foram percorridas na área de interesse.

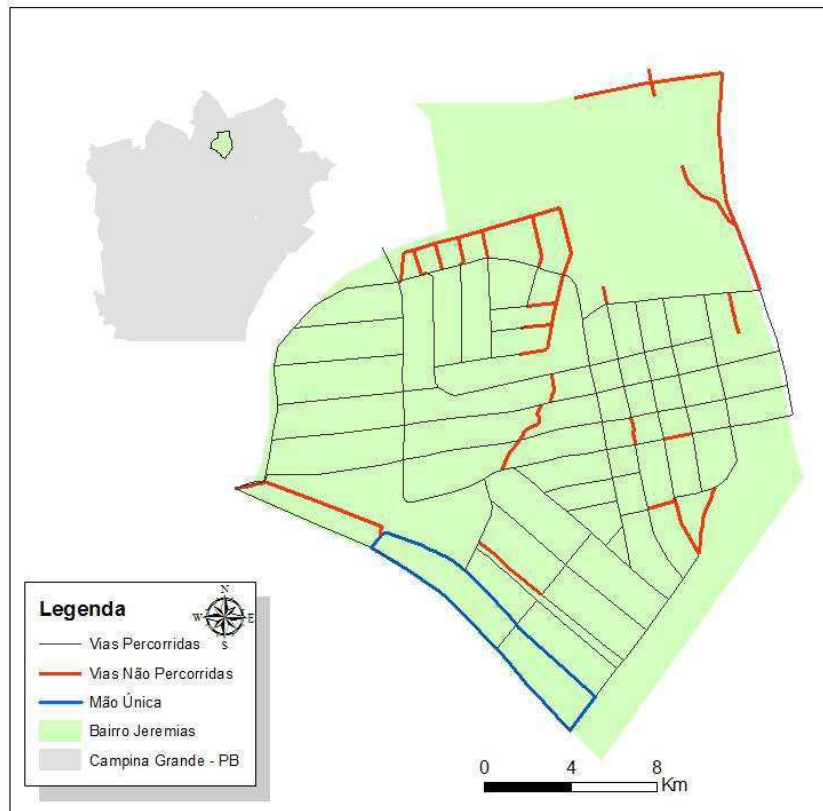
Figura 6 - Levantamento da rota atual – Adição de paradas sequenciais no Bairro Liberdade



Fonte: *print screen* da aplicação no ArcMap

O levantamento da rota atual foi importante para este estudo, uma vez que tornou possível a comparação com os resultados otimizados, bem como conhecer as características da malha viária dos bairros Liberdade e Jeremias. Em vista disso, as linhas em vermelho que podem ser observadas na Figura 6 e na Figura 7 representam as vias por onde o veículo coletor não percorre. Elas podem representar ruas estreitas, ruas que são impossíveis o percurso ou até mesmo ruas que têm a possibilidade de percorrer, mas que fazem parte de outras áreas de coleta, ou seja, atendidas por outro caminhão.

Figura 7 - Mapa viário do bairro Jeremias



Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.4 Levantamento das rotas otimizadas

As simulações para obtenção das rotas otimizadas foram divididas em dois grupos: otimização das rotas gerais e otimização das rotas específicas. A otimização das rotas gerais engloba as áreas de coleta dos bairros Liberdade e Jeremias (percursos internos), bem como os percursos externos, que são os percursos entre a garagem, área de coleta e destinação final de resíduos, neste grupo foi considerado no processo de otimização a redução da distância em quilômetros e o tempo em horas. Já a otimização das rotas específicas, aborda somente os percursos internos, mas com algumas peculiaridades, no bairro Liberdade foram feitas simulações considerando o volume de tráfego e no bairro Jeremias, a topografia.

Para adquirir as rotas otimizadas, foram adicionadas paradas em todos os arcos em que era possível a passagem do caminhão coletor. Todas as paradas foram configuradas para não terem nenhuma conversão em U (manobras de retorno do caminhão em uma via) no meio de um arco exceto em ruas sem saída, pois tal manobra comprometeria o itinerário em uma situação real, uma vez que manobras

desse tipo são consideradas perigosas e inviáveis diante das dimensões do veículo, da largura das vias e do trânsito.

Neste estudo, utilizou-se a distância, ou seja, o comprimento em quilômetros como variável a otimizar, para isso, a simulação buscou justamente o menor caminho entre as paradas, preservando a primeira e última paradas, pois foi definido como primeira parada o ponto inicial no local mais próximo entre a garagem e a área de coleta e o ponto final mais próximo entre a área de coleta e destinação final.

O atributo de tempo não foi considerado neste momento da simulação, pois o programa não considera o tempo gasto nos percursos improdutivo, superestimando neste caso, a variável tempo.

Depois da etapa de configurações de análise de rota ser concluída foi gerada uma “rota geral otimizada”, ou seja, uma rota em que ainda não foi levado em consideração o dimensionamento dos setores de coleta. Para isso, estimou-se a geração de resíduos de toda a área de interesse. A geração total de resíduos foi dividida de forma proporcional a capacidade volumétrica do caminhão coletor, resultando nos setores de coleta. Dessa forma, a rota geral otimizada foi refeita, mas considerando o volume de carga dos veículos coletores.

Para estimar o tempo gasto em horas das rotas otimizadas foi preciso conhecer os percursos improdutivo nas áreas de coleta, pois a velocidade praticada em um percurso improdutivo na maioria das vezes é maior do que a velocidade de um percurso produtivo, ou seja, são cálculos diferentes. Isto porque quando está sendo executado o serviço de coleta, o veículo precisa estar em velocidades reduzidas para não comprometer a qualidade do trabalho dos garis, bem como do serviço.

As tabelas de atributos das vias das áreas de interesse foram exportadas para o formato do excel. Logo, foi feito o somatório do comprimento (Km) dos arcos transitáveis. As distâncias dos percursos improdutivo (Equação 2) foram obtidas por diferença, ou seja, a distância total da rota geral otimizada menos o somatório dos arcos transitáveis ou percursos produtivos.

$$PI = \sum RGO - PP \quad (2)$$

Onde: PI = Percursos Improdutivo (Km);

RGO = Rota Geral Otimizada (Km);

PP = Percursos Produtivos (Km).

Por fim, depois de conhecer o comprimento dos percursos improdutivos, foi possível estimar o tempo gasto para as rotas otimizadas por meio da equação 3.

$$T = \left(\frac{\sum PP}{VPP} \right) + \left(\frac{\sum PI}{VPI} \right) \quad (3)$$

Onde: T = Tempo (horas);

PP = Percursos Produtivos (Km);

VPP = Velocidade dos Percursos Produtivos (Km/h);

PI = Percursos Improdutivos (Km);

VPI = Velocidade dos Percursos Improdutivos (Km/h).

Para os valores da velocidade, utilizaram-se as informações cedidas pela empresa prestadora do serviço. Essas informações estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Velocidades utilizadas na Equação 3 em Km/h.

LIBERDADE JEREMIAS		
Percursos Produtivos	6	7
Percursos Improdutivos	30	35

Fonte: Empresa prestadora do serviço (2015).

Segundo a empresa, para a execução do serviço no bairro Liberdade é necessário utilizar velocidades menores quando comparado com o bairro Jeremias, devido às condições de tráfego naquele bairro, principalmente durante o dia. Pensando nisso, foram feitas simulações considerando de certa forma o volume de tráfego para o bairro Liberdade.

4.2.5 Liberdade – Volume de Tráfego

De acordo com a empresa prestadora do serviço, a coleta dos resíduos no bairro Liberdade deveria ser realizada no período noturno, uma vez que as condições do trânsito no período diurno são bem mais intensas quando comparadas com o período noturno. Em vista disso, o serviço é executado de forma mais lenta,

podendo ultrapassar a carga horária dos trabalhadores. Apesar dessas informações, a SESUMA alega que a coleta deve continuar funcionando no período diurno, pois existe uma resistência dos moradores do bairro quanto a alteração dos horários de coleta. Portanto, o turno de coleta do bairro Liberdade enfrenta um verdadeiro dilema, assim, a definição da escolha vai depender de estudos mais específicos que busquem a maximização dos impactos ambientais positivos.

A empresa prestadora do serviço entende que, se a coleta passar a ser realizada no período noturno, o trabalho poderá ser realizado de forma mais eficiente, rápida e com menos problemas.

Pensando nessa discussão, este trabalho comparou o tempo gasto da rota otimizada aplicado para os turnos diurno e noturno. É importante salientar que as direções e o comprimento da rota não foram alterados, ou seja, a rota utilizada neste caso foi exatamente a mesma, a diferença está nos atributos de velocidade para os percursos produtivos e improdutivos conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Atributos de velocidade para o bairro Liberdade em km/h

	Diurno	Noturno
Percursos Produtivos	6	8
Percursos Improdutivos	30	40

Fonte: Empresa prestadora do serviço (2015).

De acordo com a Tabela 2, as velocidades atribuídas para o período noturno são maiores para o período diurno, já que é uma forma de representar que no período noturno o tráfego é mais leve. Portanto, por meio desta análise é possível obter uma noção sobre qual seria o melhor horário para executar a coleta, sob o ponto de vista da carga horária de trabalho.

4.2.6 Jeremias – Topografia

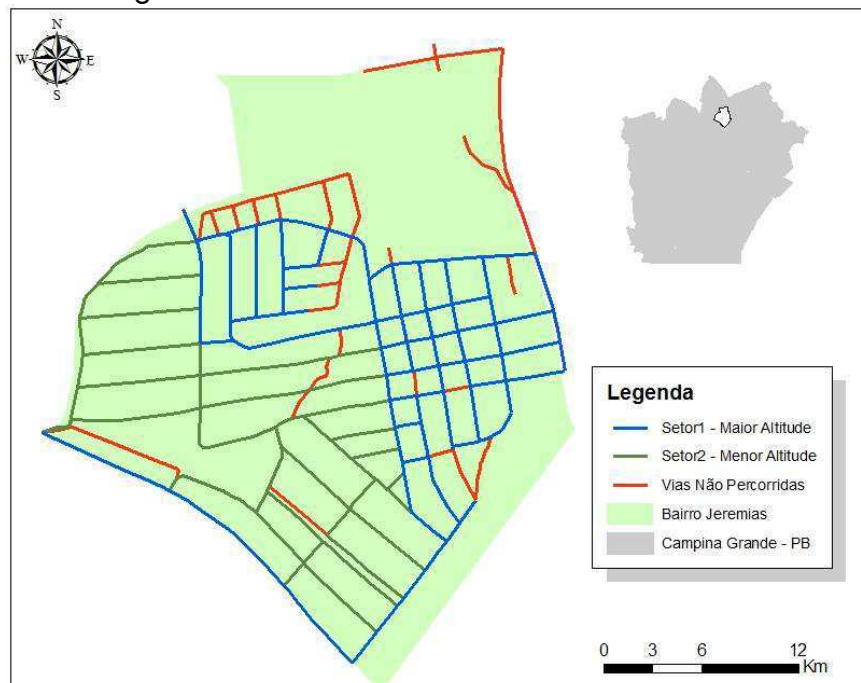
A rota otimizada para o bairro Jeremias não levou em consideração a topografia da área de coleta. No entanto, a topografia é uma característica fundamental para o planejamento dos setores de coleta, visto que, permite a redução dos custos, melhores condições de trabalho para os funcionários e aumento da vida útil dos veículos coletores.

Para considerar a topografia no planejamento da rota otimizada, o bairro foi dividido em dois setores de coleta, de forma que o serviço iniciasse no setor de maior cota altimétrica, evitando, portanto, percursos com cargas significativas (veículo mais pesado) para estes locais, e conseqüentemente, custos com combustível, dentre outros.

Para isso, utilizaram-se as curvas de nível da cidade de Campina Grande – PB disponibilizadas pela SEPLAN com variações a cada dois metros. O arquivo foi editado de maneira que representasse apenas o bairro Jeremias e constatou-se que a área de coleta tem cotas que variam entre 514 a 604 metros em relação ao nível médio do mar.

O primeiro setor de coleta (1ª viagem) foi definido entre as cotas 552 a 604 metros e o segundo setor de coleta (2ª viagem) entre as cotas 514 a 550 metros, ambos os setores podem ser observados na Figura 8. É importante mencionar que a geração de resíduos da área de coleta, estimada pela Equação 1, também foi levada em consideração para o planejamento desses setores.

Figura 8 - Setores de coleta no bairro Jeremias

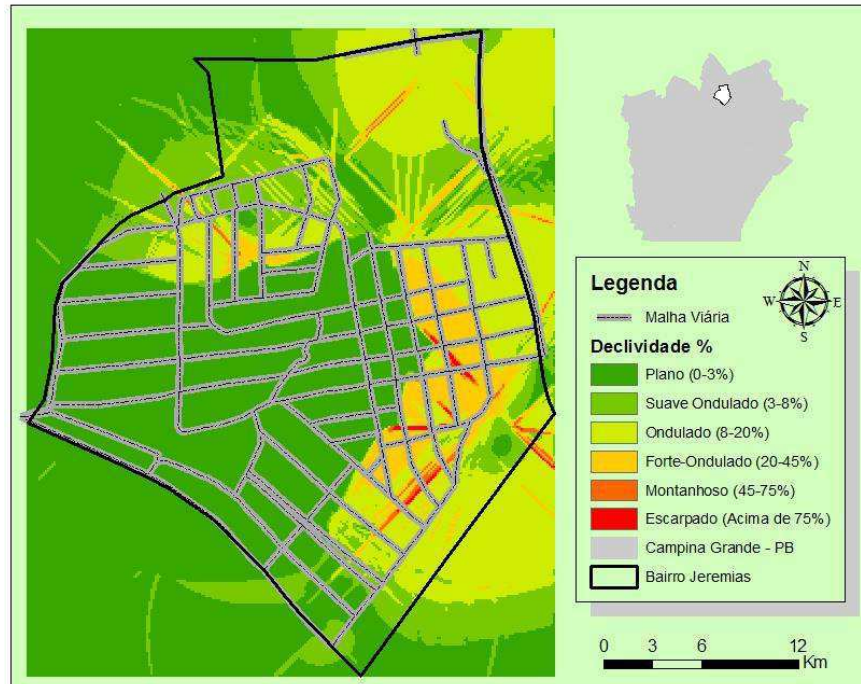


Fonte: Elaborado pelo autor

Depois da etapa de definição dos setores de coleta, foram feitas simulações que objetivassem o caminho otimizado para cada um dos setores. Em relação à

estimativa do tempo necessário para executar o serviço de coleta, levou-se em consideração a declividade da área de coleta. Portanto, a partir das curvas de nível da área de coleta foi gerado um modelo digital de elevação (DEM) e posteriormente um mapa de declividade que pode ser observado na Figura 9 que apresenta as classes de declividade (Embrapa,1979) do bairro Jeremias.

Figura 9 - Declividade do bairro Jeremias



Fonte: Elaborado pelo autor

Esse mapa foi utilizado como indicador para as vias mais críticas. Sendo assim, para os trechos com declividade superior ou igual 20%, de acordo com a Tabela 3, foram considerados os seguintes parâmetros para estimar o tempo gasto nos percursos improdutivos.

Tabela 3 - Atributos de velocidade para o bairro Jeremias em Km/h

	Subida	Descida
Percursos Produtivos	7	7
Percursos Improdutivos (<20%)	35	35
Percursos Improdutivos (>=20%)	15	25

Fonte: Empresa prestadora do serviço (2015).

O tempo gasto para executar o serviço na rota otimizada considerando a topografia da área de coleta foi estimado pela Equação 4.

$$T = \left(\frac{\sum PP}{VPP} \right) + \left[\left(\frac{\sum PI1}{VPI1} \right) + \left(\frac{\sum PI2}{VPI2} \right) \right] \quad (4)$$

Onde: T = Tempo (horas);

PP = Percursos Produtivos (Km);

VPP = Velocidade dos Percursos Produtivos (Km/h);

$PI1$ = Percursos Improdutivos com declividade menor que 20% (Km);

$VPI1$ = Velocidade dos Percursos Improdutivos com declividade menor que 20% (Km/h);

$PI2$ = Percursos Improdutivos com declividade maior ou igual a 20% (Km);

$VPI2$ = Velocidade dos Percursos Improdutivos com declividade maior ou igual a 20% (Km/h).

4.2.7 Custos variáveis de transporte

Os estudos de roteirização são fundamentais para o planejamento do sistema de coleta domiciliar uma vez que os mesmos proporcionam a redução dos custos. Pensando nisso, este trabalho utilizou o Manual de Cálculo de Custos e Formação de Preços do Transporte Rodoviário de Cargas (2014), realizado pelo Departamento de Custos Operacionais (Decope) para estimar os custos variáveis de transporte, pois, são estes custos que estão diretamente relacionados com a quilometragem percorrida.

A estimativa dos custos variáveis é bastante útil para trabalhos que envolvam análises logísticas de transporte, já que permite comparar os custos variáveis atrelados à realização do serviço atual e os do serviço otimizado. Deste modo, com essa estimativa de custos é possível avaliar o quanto se pode economizar, melhorando assim os processos atuais.

Os custos variáveis correspondem às despesas que variam de acordo com a distância percorrida pelo veículo. O custo variável é estimado pelos seguintes itens: peças, acessórios e material de manutenção (PM), despesas com combustível (DC), lubrificantes (LB) e pneus e recauchutagens (PR) (Decope, 2014).

a) Peças, acessórios e material de manutenção (PM)

Corresponde à previsão de despesas mensais com peças, acessórios e material de manutenção do veículo. Uma vez apuradas, essas despesas devem ser divididas pela quilometragem mensal percorrida, para se obter o valor por quilômetro. Pode corresponder a 1% do valor do veículo completo e sem pneus, por mês. Cabe a cada empresa determinar o valor mais preciso e adequado para este parâmetro (Decope, 2014). A Equação 5 traz a expressão de cálculo desse custo.

$$PM = \frac{(\text{Valor do Veículo Completo} - \text{Valor dos Pneus}) * (0,01)}{DM \text{ (quilometragem média mensal rodada pelo veículo Km)}} \quad (5)$$

b) Despesas com combustível (DC)

São os custos por quilômetro rodado, o resultado deste item (Equação 6) é determinado por meio do preço do combustível (óleo diesel) por litro dividido pelo rendimento do combustível (Decope, 2014).

$$DC = \frac{PC}{RM} \quad (6)$$

Onde: *DC* = Despesas com combustível (R\$/km);

PC = Preço do combustível (R\$/litro);

RM = Rendimento do combustível (km/litro).

Para este estudo foi considerado o preço de um litro de óleo diesel a R\$ 3,057 (Sistema de Levantamento de Preços). Em relação ao rendimento médio de combustível, as informações foram obtidas pela empresa prestadora do serviço (Tabela 4).

Tabela 4 - Rendimento médio de combustível

	Jeremias	Liberdade	
Veículo	ATEGO 1726	ATRON 2729	ATEGO 1726
Capacidade (m ³)	15	27	15
Rendimento (Km/l)	2,2	1,6	2,2

Fonte: Empresa prestadora do serviço (2015).

c) Lubrificantes (LB)

Esse item aborda a troca de todos os óleos lubrificantes, filtros e a regulação das válvulas do motor (Equação 7).

$$LB = \frac{\text{Valor dos Produtos}}{\text{Distância Percorrida}} \quad (7)$$

O valor dos produtos necessários para a manutenção do veículo foi obtido por meio de entrevista com funcionários do departamento de manutenção da concessionária Unidas, localizada em João Pessoa – PB, o custo é de R\$ 1.250,00 a cada 30.000 quilômetros para uso severo. O uso severo pode ser caracterizado com o trânsito frequente em vias com tráfego intenso, ou está em constantes viagens com carga máxima.

$$LB = \frac{1.250,00}{30.000} \text{ para uso severo}$$

d) Pneus e recauchutagens (PR)

Este item se refere aos custos resultantes do consumo dos pneus utilizados nos caminhões. Para obter o valor desse item por quilômetro (Equação 8), é necessário dividir o preço dos conjunto de pneus pela quantidade de quilômetros (vida útil do pneu) informada pelo fornecedor.

$$PR = \frac{\text{Preço dos Pneus}}{\text{Quilômetros Percorridos}} \quad (8)$$

e) Custos variáveis totais (CVT)

Os custos variáveis totais são obtidos por meio do somatório dos itens peças, acessórios e material de manutenção (PM), despesas com combustível (DC), lubrificantes (LB) e pneus e recauchutagens (PR), como pode ser observado na Equação 9:

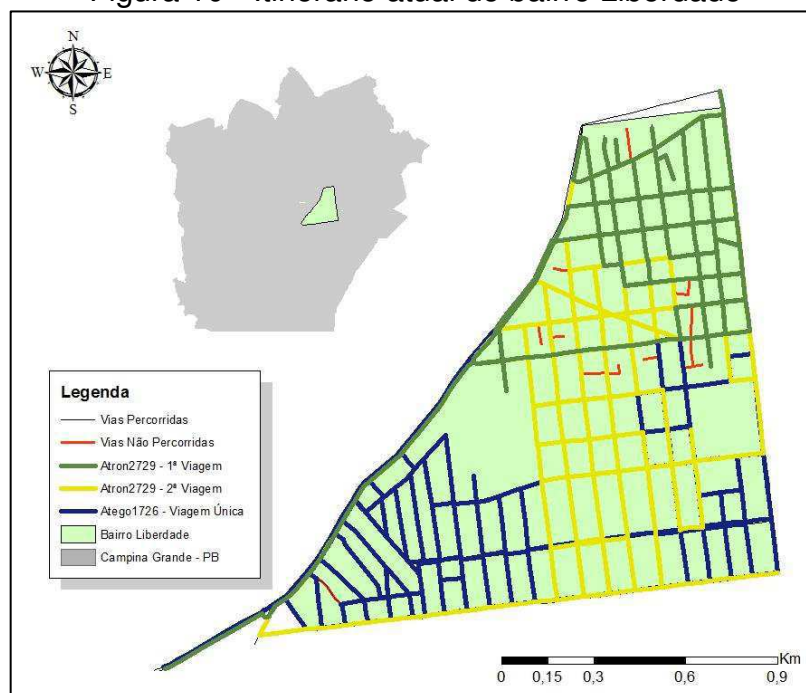
$$CV = PM + DC + LB + PR \quad (9)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Resultados obtidos com as rotas atuais

Os itinerários atuais das áreas de coleta dos bairros Liberdade e Jeremias, obtidas com o auxílio do sistema SASCAR, podem ser vistos nas Figuras 10 e 11 apresentadas a seguir.

Figura 10 - Itinerário atual do bairro Liberdade



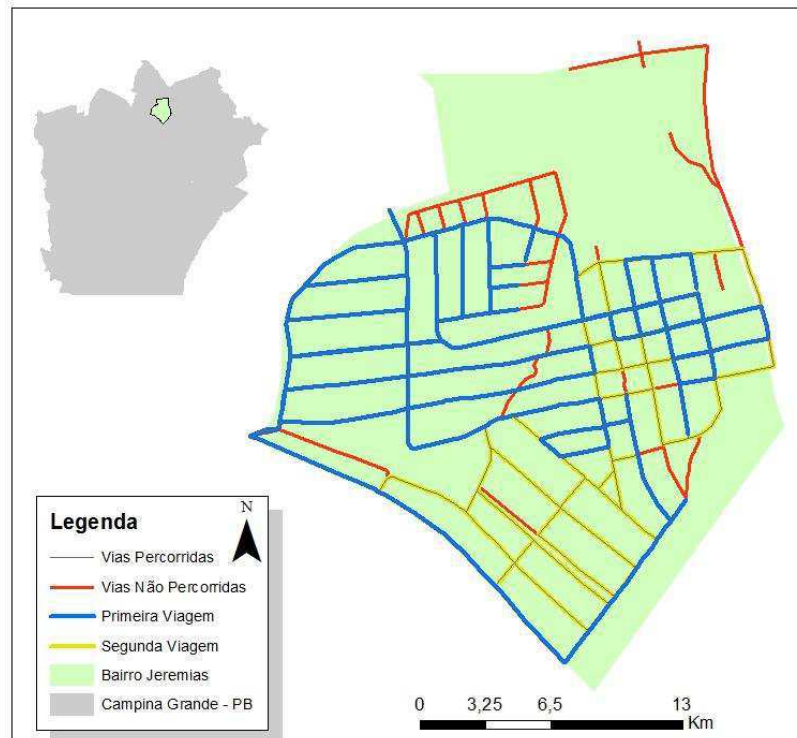
Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser observado na Figura 10, o bairro Liberdade apresenta poucas vias não percorridas pelo veículo de coleta e transporte de resíduos. A estrutura viária local explica a excelente cobertura do percurso, uma vez que, a maioria das ruas são planas, largas e pavimentadas, conferindo boas condições para o tráfego e realização de manobras dos veículos coletores.

O principal empecilho do bairro Liberdade, segundo a empresa prestadora do serviço, está no volume de tráfego de veículos que, por ser muito alto na localidade, acaba comprometendo o fluxo da coleta e acarretando horas extras de trabalho. Em relação ao volume de resíduos coletado, ocorre uma geração de resíduos maior no bairro Liberdade em comparação com o bairro Jeremias. Deste modo, faz-se

necessário o uso do veículo de maior capacidade da frota (27m³) além de um veículo coletor a mais para suprir a demanda do bairro.

Figura 11 - Itinerário atual do bairro Jeremias



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 11 ilustra o itinerário atual para o bairro Jeremias que, ao contrário do bairro Liberdade, apresenta uma maior dificuldade para a realização do serviço sob o ponto de vista de acessibilidade. Esta dificuldade se deve as condições físicas do bairro como, por exemplo, a topografia, a qualidade e características das vias, levando à existência de trechos com impossibilidade de trânsito para o caminhão coletor. A Figura 12 mostra uma via pela qual o veículo coletor não tem condições de transitar. Casos como este se repetem ao longo do bairro Jeremias, o que também impossibilita a troca do caminhão coletor atual por outro de maior capacidade, sendo necessárias duas viagens, com um caminhão de menor porte para efetivação do serviço em toda área de coleta.

Figura 12 - Via não transitável pelo veículo coletor



Fonte: Google – *street view*.

A comparação das variáveis distância (Km) e tempo de execução de serviço (em horas) para atender os bairros Liberdade e Jeremias, considerando a atual rota realizada pelos caminhões de coleta e os percursos produtivos e improdutivos que os veículos realizam, está apresentada na Tabela 5.

Para a maximização da eficiência do serviço os percursos improdutivos devem ser minimizados. Os percursos improdutivos não devem ultrapassar 20% da rota total da área de coleta (JUNIOR E FILHO, 2010). Tal percentual visa garantir o consumo mínimo de combustível e aumento da vida útil dos veículos, reduzindo assim, os custos do serviço a curto e médio prazo. Esta minimização do percurso improdutivo possibilita também a redução de tempo de serviço, melhorando a qualidade de vida dos profissionais responsáveis pela coleta.

Ao calcular os percursos improdutivos para os bairros Liberdade e Jeremias com as rotas atuais de coleta, foram encontrados os seguintes números respectivamente: 30,13% e 31,56% do percurso. Tais resultados mostram que as rotas atuais carecem de uma melhor avaliação que busque identificar suas fragilidades e encontrar possíveis soluções para estas, visando a redução dos percursos improdutivos e, conseqüentemente, dos custos atrelados a realização do serviço.

Tabela 5 - Características dos itinerários atuais das áreas de coleta

	Liberdade	Jeremias
Percursos Produtivos - PP (Km)	30,44	12,92
Percursos Improdutivos - PI (Km)	13,13	5,96
Percurso Atual - PP + PI (Km)	43,57	18,88
Tempo de Serviço (horas)	11,28	3,37

Fonte: Elaborado pelo autor

Com relação ao tempo de realização do serviço (Tabela 5), que corresponde ao tempo de trabalho diário de coleta, sem considerar o tempo gasto nos percursos externos, foi identificado que, especialmente no bairro Liberdade, o tempo gasto para a realização da coleta é bastante elevado (11,28 horas). Este tempo, em horas, é gasto entre o momento que se inicia a coleta e o momento que a mesma é encerrada.

Segundo informação disponibilizada pela empresa responsável pelo serviço na cidade de Campina Grande, o tráfego das vias interfere no tempo de coleta, acarretando um aumento da carga horária de trabalho e das despesas no setor de recursos humanos uma vez que, são necessárias horas extras de serviço, principalmente no início da semana, quando o volume de resíduos a ser coletado é maior, devido ao acúmulo do final de semana.

Portanto, a busca por itinerários ótimos deve levar em consideração não apenas as distâncias percorridas, mas as condições de acesso às vias, horários de maior tráfego, e o tempo gasto para realização de cada percurso.

Outro diagnóstico feito neste estudo foi em relação aos percursos externos, ou seja, aqueles entre a garagem, as áreas de coleta e o aterro sanitário. A Tabela 6 apresenta as distâncias entre as unidades que integram o processo de coleta e transporte.

Tabela 6 - Percursos externos dos itinerários atuais

Instalações	Liberdade	Jeremias
	Distância percorrida em Km	
Garagem - Área de Coleta1	5,5	13
Área de Coleta1 - Aterro Sanitário	15,5	18,5
Aterro Sanitário - Área de Coleta2	15,2	18,50
Área de Coleta2 - Aterro Sanitário	19,9	18,6
Aterro Sanitário - Garagem.	14,5	14,5
Distância Total	70,6	83,1

Fonte: Elaborado pelo autor

A distância total percorrida, indicada na Tabela 6, é referente a um dia de serviço. Comparando as Tabelas 6 e 5, percebe-se que os valores obtidos para o percurso externo feito pelos caminhões são bem maiores que os valores relativos às rotas internas atuais de coleta em ambos os bairros.

O bairro Jeremias está localizado em uma zona periférica da cidade sendo mais afastado tanto da garagem quanto do aterro sanitário. Esta localização impõe um percurso externo equivalente a mais de 4 vezes o realizado para coletar o lixo dentro do próprio bairro.

Já o bairro Liberdade, por estar situado mais próximo das unidades complementares ao sistema de coleta e transporte dos resíduos, apresenta resultados menores para os percursos externos, quando comparados aos resultados encontrados no bairro Jeremias, sendo este percurso equivalente a 1,6 vezes o percurso interno de coleta no bairro.

O percurso externo percorrido na prestação do serviço de coleta no bairro Liberdade representa aproximadamente 62% do percurso total (soma dos percursos interno e externo). Para o bairro Jeremias, o percurso externo consiste em aproximadamente 81% do percurso total da prestação de serviço.

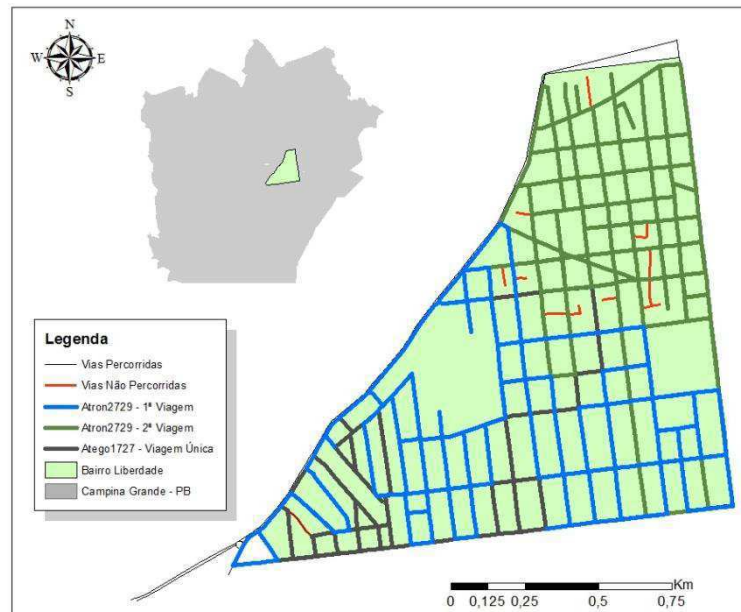
5.2 Resultados obtidos com a otimização das rotas

Após aplicados os procedimentos necessários nas redes (Sentidos de circulação, conversões proibidas, geração de resíduos, dentre outros.) para iniciar as simulações, foram gerados os resultados das rotas otimizadas para os bairros Liberdade e Jeremias, assim como para os percursos externos. As rotas otimizadas indicando novos setores de coleta e transporte para os bairros Liberdade e Jeremias estão indicados nas Figuras 13 e 14 respectivamente.

De acordo com as Figuras 13 e 14, os setores de coleta estão diferentes dos setores atuais (Figuras 10 e 11), já que o analista de rede (*Network Analyst*) do ArcGIS busca a diminuição dos percursos improdutivos da rede, considerando toda a área de coleta. As rotas otimizadas, mesmo que demostrem uma maior eficiência em termos de distância e redução do tempo de serviço, não representam necessariamente a melhor opção, uma vez que podem haver outras variáveis específicas do ambiente de coleta que não estão contempladas no processo de obtenção de rotas otimizadas. Tais mudanças podem gerar transtornos para os

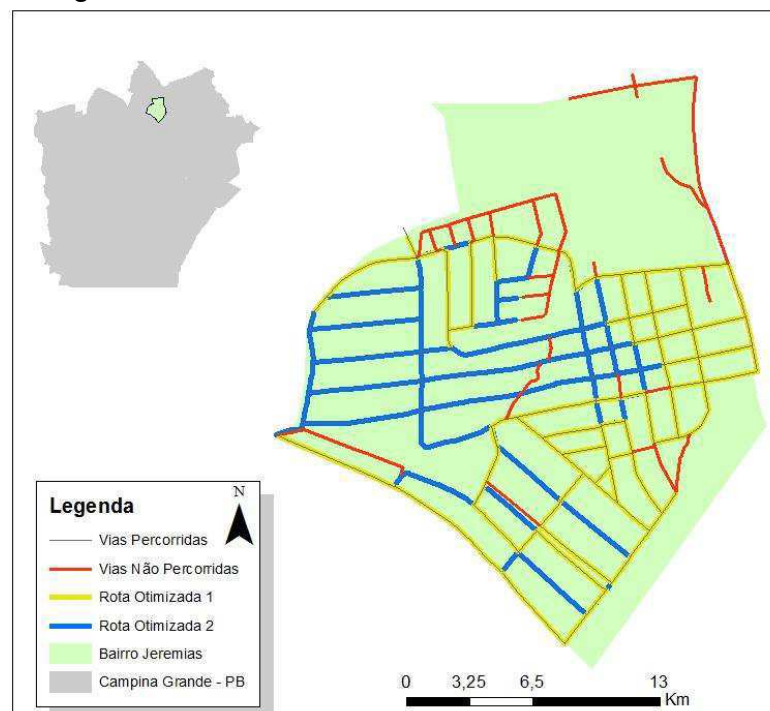
funcionários que estão habituados com os itinerários atuais, mas podem funcionar como uma ferramenta de discussão inicial para possíveis modificações que conduzam a resultados finais satisfatórios para a empresa, funcionários e à população usuária do serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares.

Figura 13 - Itinerário otimizado do bairro Liberdade



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 14 - Itinerário otimizado do bairro Jeremias



Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 7 traz as informações de distância (Km) e tempo de execução do serviço (horas) dos itinerários otimizados para os dois bairros.

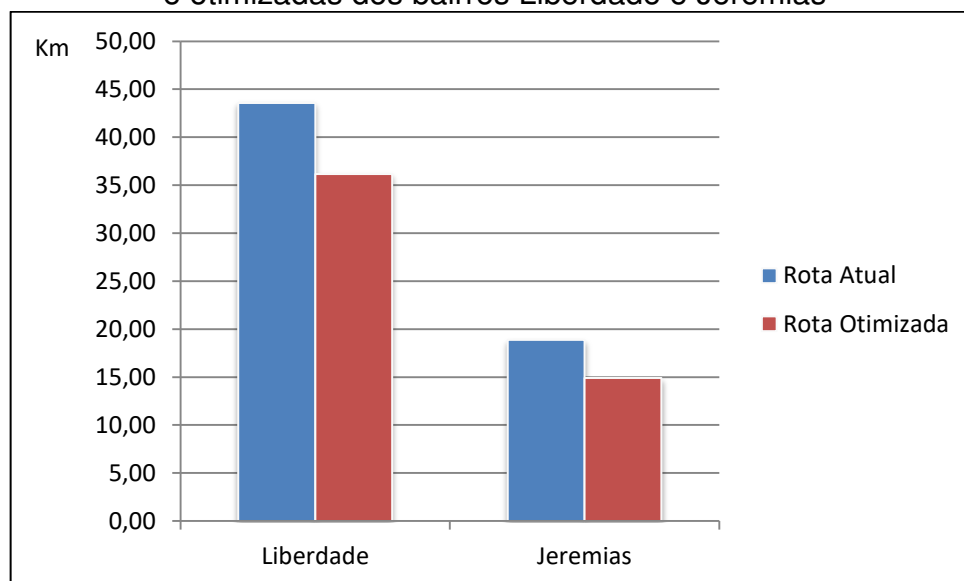
Tabela 7 - Características dos itinerários otimizados das áreas de coleta

	Liberdade	Jeremias
Percursos Produtivos - PP (Km)	30,44	12,92
Percursos Improdutivos - PI (Km)	5,73	2
Percurso Atual - PP + PI (Km)	36,17	14,92
Tempo de Serviço (horas)	6,3	1,9

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 15 apresenta a comparação entre os valores das distâncias (Km) apresentados anteriormente, das rotas atuais e os valores obtidos com as rotas otimizadas nos bairros Liberdade e Jeremias.

Figura 15 – Comparação entre as distâncias (percursos) percorridas nas rotas atuais e otimizadas dos bairros Liberdade e Jeremias

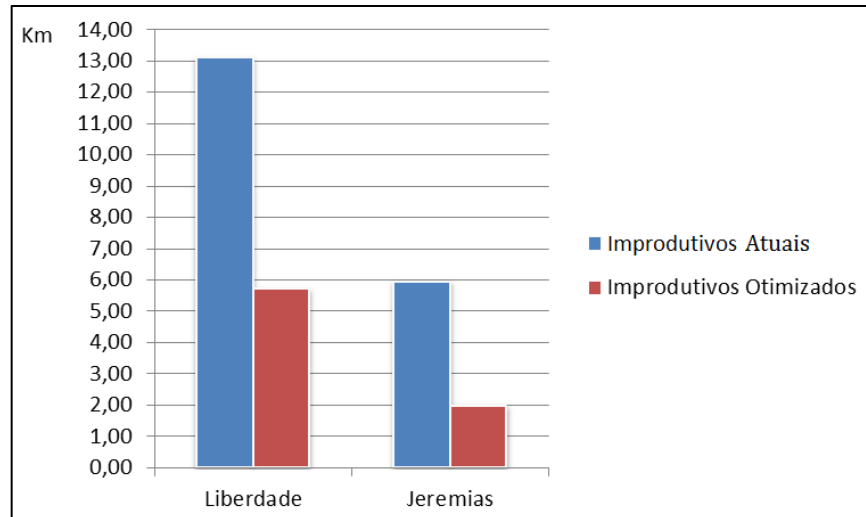


Fonte: Elaborado pelo autor

Para o processo de otimização das rotas de coleta domiciliar, tendo em vista que o veículo coletor deve atender o máximo de ruas possíveis, o processo de diminuição das distâncias percorridas está, principalmente, relacionado à redução dos percursos improdutivos, ou seja, aqueles que são percorridos sem o intuito de realização de coleta, em geral, quando o veículo coletor trafega mais de uma vez pela mesma via. Assim, as rotas otimizadas mostraram reduções no percurso de

21% para o bairro Liberdade e 17% para o bairro Jeremias em relação às rotas atuais (Figura 16).

Figura 16 - Percursos improdutivos atuais e otimizados dos bairros Liberdade e Jeremias



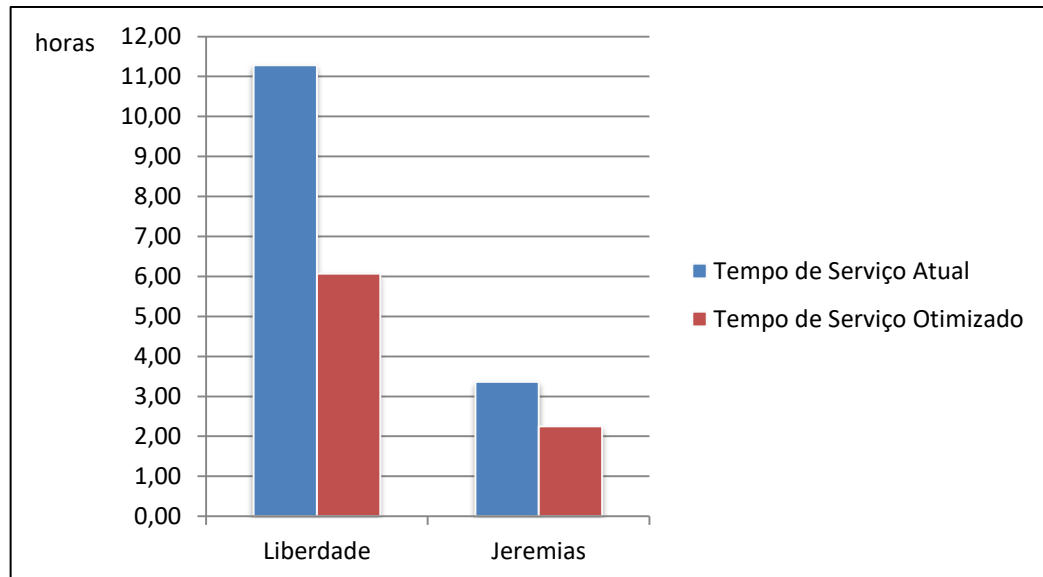
Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 16 apresenta os resultados da otimização para os percursos improdutivos comparando-os com a rota atual. Analisando este ponto específico, a redução de percurso da rota otimizada comparada com a rota atual mostra-se ainda mais expressiva, sendo encontrados os seguintes números: 56,36% de redução dos percursos improdutivos para o bairro Liberdade e 66,41% para o bairro Jeremias. É importante destacar que os percursos improdutivos das rotas otimizadas dos bairros Liberdade e Jeremias passaram, respectivamente, para: 15,84% e 13,41%. Assim, os percursos improdutivos das rotas otimizadas situam-se abaixo da margem sugerida pela literatura, que é de até 20% da rota total. Os resultados dos percursos improdutivos das rotas atuais, segundo a empresa prestadora do serviço, é variável, uma vez que, as rotas atuais são diferenciadas dependendo do dia de coleta, da equipe de trabalho e em função de não terem sido realizados estudos específicos para melhoria das rotas.

Os estudos de roteirização de veículos são necessários, pois, proporcionam, na maioria dos casos, a redução das distâncias (Km), dos custos para realização do serviço e do tempo para a efetivação do trabalho, ou seja, realizar o mesmo trabalho, com menos recursos e de forma mais rápida e eficiente.

Uma comparação entre os tempos de execução do serviço nas rotas atuais e otimizadas para os bairros Liberdade e Jeremias é mostrada na Figura 17.

Figura 17 - Tempos de execução do serviço nas rotas atuais e otimizadas para os bairros Liberdade e Jeremias



Fonte: Elaborado pelo autor

As rotas otimizadas apresentaram percentual de redução de tempo de serviço de 46% para o bairro Liberdade e 33% para o bairro Jeremias em relação ao tempo gasto com o atual percurso realizado pelos veículos coletores. A minimização do tempo de serviço é importante no processo de coleta e transporte de resíduos já que esta possibilita o uso do veículo e da equipe de coleta em outras áreas, podendo contribuir para a redução da frota de veículos e os gastos financeiros com horas extras de serviço. Os resultados de redução de tempo de percurso na rota otimizada foram bastante expressivos, contudo, as condições do tráfego de veículos não foram levadas em consideração, neste momento, no processo de roteirização, fazendo-se necessário que outras avaliações sejam acrescentadas a esta análise inicial. Assim, os valores obtidos podem estar superestimados, uma vez que nesta simulação considerou-se uma velocidade nos percursos improdutivos de 30 km/h podendo estes números divergir da situação real.

A Tabela 8 apresenta as distâncias otimizadas em relação aos percursos externos das áreas de estudo. Nota-se que as maiores distâncias percorridas ainda estão entre as áreas de coleta e o aterro sanitário, que representam, em termos

percentuais, 69% para o bairro Liberdade e 67% para o bairro Jeremias. Sendo assim, mais da metade da logística dos percursos se concentram na destinação final.

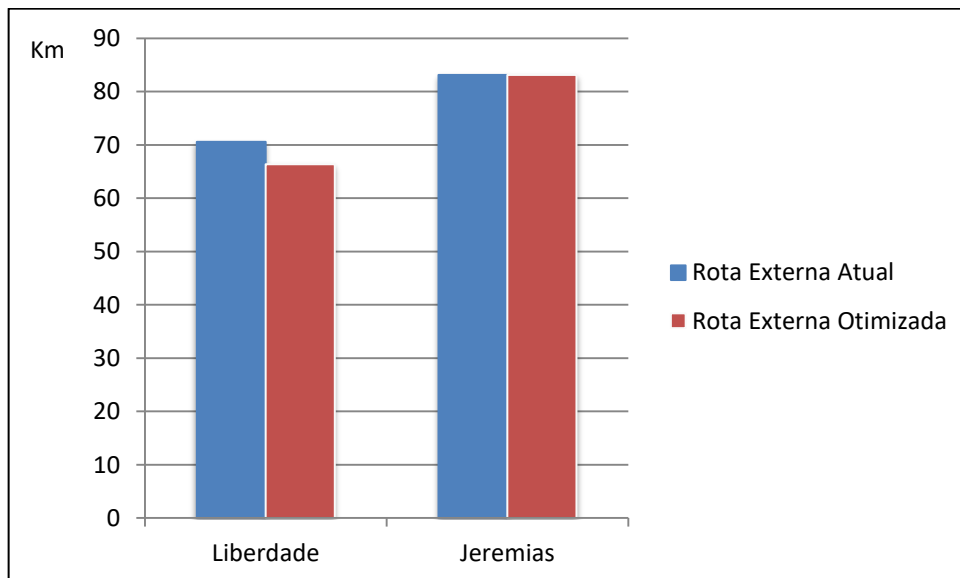
Tabela 8 - Percursos externos dos itinerários otimizados em Km

Instalações	Liberdade	Jeremias
Garagem -> Área de Coleta1	5,5	13
Área de Coleta1 -> Aterro Sanitário	15,5	18,5
Aterro Sanitário -> Área de Coleta2	15,2	18,5
Área de Coleta2 -> Aterro Sanitário	15,7	18,6
Aterro Sanitário -> Garagem.	14,5	14,5
Total	66,4	83,1

Fonte: Elaborado pelo autor

A comparação entre as distâncias finais (Km) das rotas atuais com as rotas otimizadas para os bairros estudados estão apresentadas na Figura 18.

Figura 18 - Rotas atuais e otimizadas dos percursos externos para os bairros Liberdade e Jeremias



Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados observados na figura indicam pouca variação entre as rotas que são atualmente executadas e as simuladas pelo modelo. Para o bairro Liberdade houve uma redução de 4,2 Km em relação à rota atual, equivalentes a 6% de redução. Já para o bairro Jeremias constatou-se que os percursos atuais estão

adequados sob o ponto de vista da quilometragem, já que as simulações não conseguiram reduzir as distâncias das rotas atuais.

Os percursos externos têm grande representatividade nos serviços de coleta e transporte de resíduos sólidos domiciliares e portanto devem ser detalhadamente avaliados. A depender da situação, faz-se pertinente analisar a possibilidade de implantação de uma estação de transferência de resíduos no gerenciamento de resíduos sólidos de uma cidade, principalmente, quando os setores de coleta estão localizados distantes do local de destinação final, tendo em vista que, estas instalações podem permitir a melhoria logística e financeira do sistema de coleta como um todo. No entanto, é preciso analisar a viabilidade de implantação por meio de uma avaliação econômica de redução de despesas com o transporte em paralelo, com uma estimativa de custos com a construção e manutenção da estação de transferência, sendo necessário, portanto, estudos específicos.

5.3 Avaliação do turno de coleta de resíduos sólidos domiciliares

5.3.1 Avaliação do turno de coleta no bairro Liberdade

A empresa prestadora do serviço acredita que o horário de coleta no bairro Liberdade deveria voltar a ser realizado no período noturno, pois considera que nesse período às condições do tráfego de veículo favorecem o andamento do serviço, acarretando menos horas de trabalho e conseqüentemente, diminuição do consumo de combustível e de deterioração dos veículos. No entanto, a prefeitura da cidade entende que o serviço deve continuar sendo executado no período diurno, uma vez que, a mudança do horário de coleta gerou grande insatisfação por parte da população do bairro, devido às mudanças nos hábitos de horários da disponibilização dos resíduos para a coleta.

Partindo dessa discussão, foi feito um estudo utilizando a rota otimizada do bairro Liberdade e comparando os resultados do tempo de serviço de acordo com o turno de coleta.

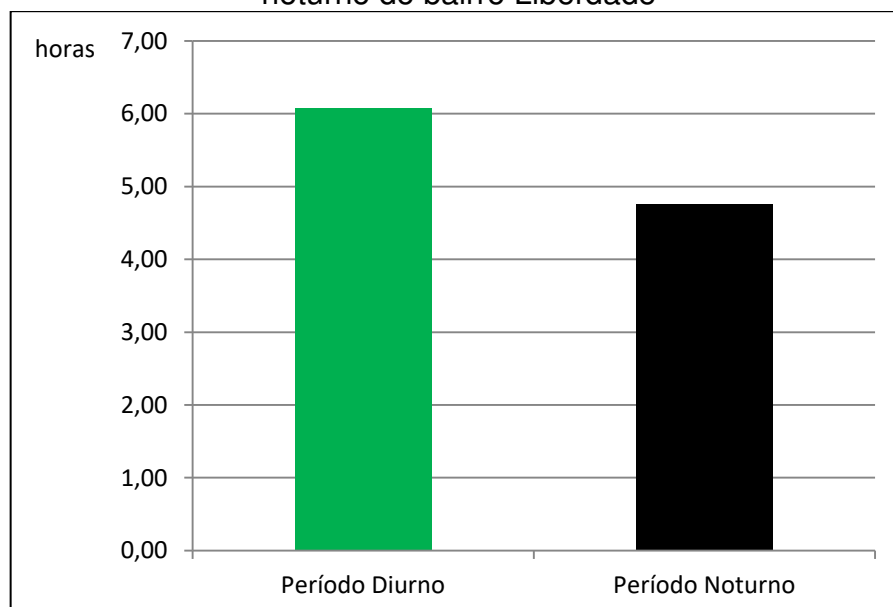
Assim, neste cenário, as direções e o comprimento (Km) das rotas não foram modificados, a diferença está nos atributos de velocidade para representar o período noturno, ou seja, considerando que volume de tráfego é menor neste período, foram

utilizadas velocidades maiores para os percursos produtivos (8 Km/h) e improdutivos (40 Km/h).

Os resultados obtidos para a rota otimizada considerando a coleta noturna estão apresentados na Figura 19. A rota otimizada que representa a coleta noturna traz reduções de 21,7% do tempo de serviço em relação ao tempo gasto com a rota otimizada para o período diurno.

Desta forma, sob este ponto de vista, o turno de coleta mais adequado para o bairro Liberdade seria o noturno, visto que, a coleta poderia ser executada de forma mais rápida, além de haver a redução de possíveis transtornos que o veículo coletor de resíduos traria ao trânsito das vias mais movimentadas do bairro, uma vez que este trafega em baixa velocidade, necessária para execução do serviço. Entende-se que a melhoria do trânsito nas vias do bairro pode trazer melhorias na qualidade de vida da população e dos funcionários da empresa, bem como do sistema de coleta da cidade, uma vez que os veículos coletores que são utilizados no período noturno poderão ser disponibilizados também em outros setores de coleta no período diurno aumentando o potencial de uso da frota.

Figura 19 – Tempo de serviço gasto com a rota otimizada para os turnos diurno e noturno do bairro Liberdade



Fonte: Elaborado pelo autor

Se, por um lado, são apresentadas as vantagens obtidas com a coleta realizada no período noturno, por outro, a mudança de horário pode acarretar outros

transtornos para a população do bairro como, por exemplo, a poluição sonora originada pelos motores dos veículos e pelo processo de compactação dos resíduos.

Portanto, é necessária uma avaliação, por meio de estudos mais específicos, com o intuito de medir os prováveis impactos sociais, econômicos e ambientais positivos e negativos dessa modificação de turno, bem como, caso o período noturno se configure como o melhor, informar a população as vantagens da coleta neste turno.

5.3.2 Avaliação dos setores de coleta do Bairro Jeremias

Nesta etapa do processo de roteirização, considerou-se a variação topográfica do bairro Jeremias, o que levou a uma subdivisão do mesmo em dois setores, ficando o “setor A” composto pela área do bairro com cotas mais elevadas e o “setor B” composto pela área do bairro com as cotas mais baixas. Além da variação topográfica, foram consideradas também sugestões dadas pela empresa prestadora do serviço de coleta de resíduos no setor. Tais foram baseadas nas experiências práticas vividas pelos profissionais que trabalham diretamente com a coleta e o transporte dos resíduos.

Levando em consideração a variação topográfica da área estudada, o veículo de coleta dos resíduos deixaria de trafegar em algumas ruas. Contudo, o atendimento a estas localidades continuaria sendo realizado, adotando-se uma estratégia diferenciada na qual, o veículo de coleta ficaria estacionado em pontos estratégicos do percurso e, os profissionais de coleta direta (garis) fariam o recolhimento dos resíduos e o transporte até o veículo. Tais pontos de parada foram selecionados de forma que a qualidade do trabalho dos garis não viesse a ser comprometida.

Estando definidos os novos setores de roteirização (“setor A” e “setor B”), foram realizadas novas simulações. Com o intuito de facilitar a análise dos resultados e a compreensão do texto, as novas simulações foram denominadas de “Rota otimizada 2”. Já as simulações anteriores para o bairro, desconsiderando a variação topográfica da área, foram denominadas “Rota otimizada 1”. Os resultados encontrados com as rotas otimizadas 1 e 2 estão apresentados nas Tabelas 9 e 10 e foram comparados aos obtidos com a atual rota de coleta, como ilustra a Figura 20.

Tabela 9 - Distâncias percorridas e tempo de serviço necessário para a rota atual e as rotas otimizadas.

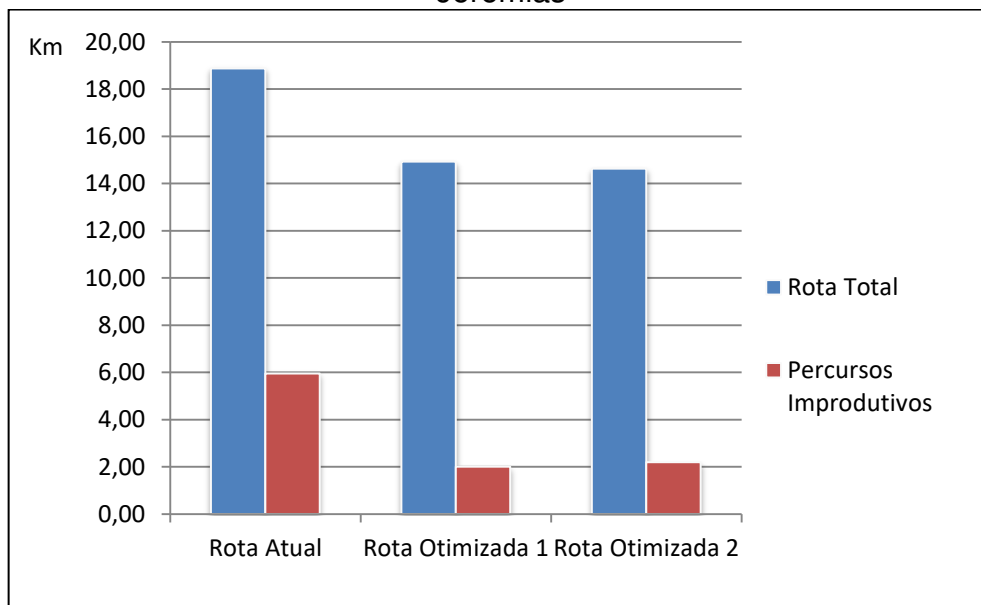
Rota	Distância percorrida (km)	Percursos Improdutivos (km)	Tempo de Serviço (h)
Rota Atual	18,88	5,96	3,37
Rota Otimizada 1	14,92	2,00	2,28
Rota Otimizada 2	14,63	2,20	2,39

Tabela 10 - Comparativo dos resultados obtidos com as rotas otimizadas 1 e 2 e a rota atual.

Rotas comparadas	Redução em Porcentagem		
	Distância percorrida (km)	Percursos improdutivos (km)	Tempo de Serviço (h)
Rota atual X Rota otimizada 1	20,96%	66,41%	32,28%
Rota atual X Rota otimizada 2	22,50%	63,05%	28,95%
Rota otimizada 1 X Rota otimizada 2	2%	-10,0%	-4,91%

Os valores negativos que aparecem na tabela indicam que, ao invés de uma redução, houve um aumento na comparação analisada.

Figura 20 - Comparação dos percursos entre as rotas atual e otimizadas no bairro Jeremias



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao analisar as distâncias percorridas na coleta (Tabela 10) como ilustra a Figura 20, os resultados encontrados tanto com a rota otimizada 1 quanto com a rota otimizada 2 são significativos e satisfatórios, uma vez que, quando comparados com

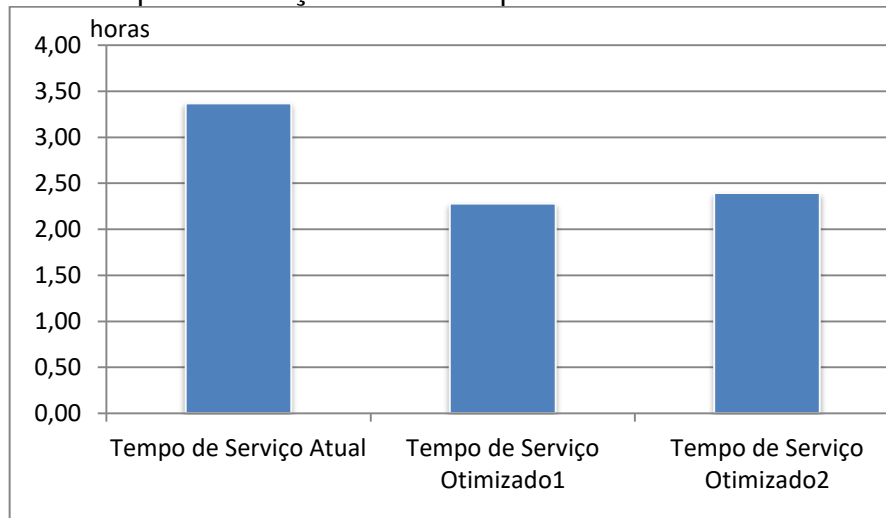
os resultados provenientes do levantamento da rota atual, obtém-se reduções de quilometragem de mais de 20% (aproximadamente 21% utilizando-se a rota otimizada 1 e 22,5% utilizando-se a rota otimizada 2). Comparando os resultados encontrados na rota otimizada 2 com os da rota otimizada 1, percebe-se uma redução de apenas 2% da distância percorrida, mostrando que, neste quesito, a diferença entre as rotas simuladas é muito pequena.

Analisando os percursos improdutivos indicados na Tabela 10, observa-se reduções de mais de 60% comparando a utilização das rotas otimizadas 1 e 2 com a rota atual de coleta (66,4% utilizando-se a rota otimizada 1 e 63% utilizando-se a rota otimizada 2). Para os resultados das rotas otimizadas, a simulação com a rota otimizada 2 apresentou um aumento do percurso improdutivo de 10% em relação à rota otimizada 1.

Ainda na Tabela 10, com relação ao tempo de serviço (tempo que empresa gasta na realização da coleta e transporte) a rota otimizada 1 apresentou uma redução de mais de 32% quando comparada com a rota atual e a rota otimizada 2 uma redução de aproximadamente 29%, em relação a rota atual. Confrontando os resultados da rota otimizada 2 com os encontrados com a utilização da rota otimizada 1, observou-se um aumento de aproximadamente 5% do tempo de serviço.

A Figura 21 traz um comparativo da variável “tempo de serviço” para as rotas atual e otimizadas. De acordo com a figura é possível observar mais claramente a redução de tempo de serviço dos trabalhadores quando levados em consideração os aspectos topográficos do bairro. Apesar do tempo do serviço da rota otimizada 2 ser 5% maior do que a rota otimizada 1, a rota otimizada 2 se sobressai por simular um cenário mais próximo da realidade.

Figura 21 - Tempo de serviço necessário para a rota atual e rotas otimizadas



Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados encontrados neste estudo reforçam a ideia de que a rota atual de coleta de resíduos necessita de melhorias e que a variação da topografia local é um aspecto importante a ser considerado. Com a adoção de uma das rotas otimizadas, em detrimento da rota atual de coleta, a empresa responsável pela coleta de resíduos poderia realizar um serviço mais eficiente, em menor tempo e ainda economizar recursos necessários para a prestação do serviço.

Embora os resultados encontrados com a rota otimizada 1 tenham se mostrado superiores aos encontrados com a rota otimizada 2 nos quesitos percursos improdutivos e tempo de serviço, não se pode concluir que a rota otimizada 2 é uma opção descartável. Considerando que a diferença entre os resultados das duas rotas otimizadas é pequena, entende-se que ambas apresentaram bons resultados quando comparadas com a rota atual.

5.4 Análise de custos variáveis de transporte

Com base na roteirização, foram calculados os custos com o transporte dos resíduos sólidos na área estudada. Este cálculo permitiu realizar uma estimativa de quanto a empresa responsável pela coleta e transporte dos resíduos gasta, realizando o serviço com a atual rota e comparar com a estimativa de gastos baseada na rota otimizada proposta neste estudo, avaliando quanto poderia ser economizado financeiramente.

Aqui são apresentados os custos mensais e anual, para ilustrar melhor a discrepância entre os custos com a rota atual e com as rotas otimizadas e a economia gerada com a utilização de uma rota otimizada.

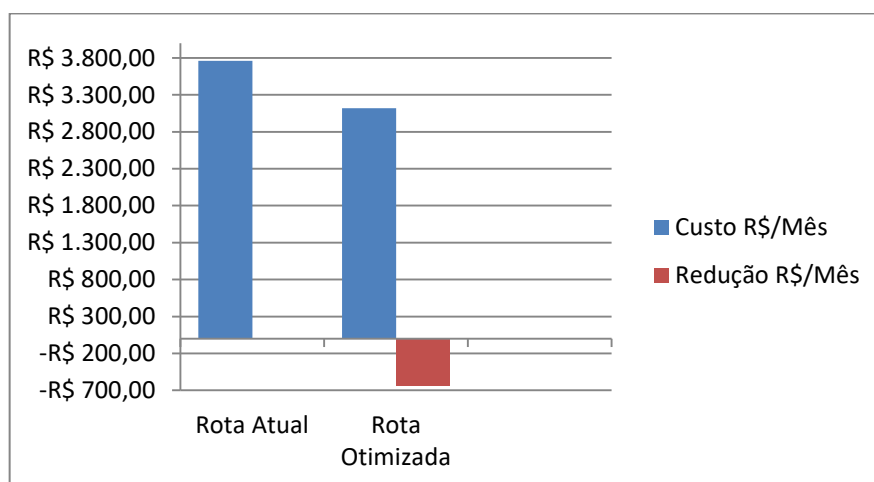
Os custos com transporte estão entre as principais variáveis do processo de roteirização, uma vez que estes estão diretamente relacionados com quilometragem percorrida.

5.4.1 Resultado dos custos para o bairro Liberdade

As simulações referentes ao custo de transporte no bairro Liberdade foram realizadas com apenas uma rota otimizada que representa tanto a coleta diurna quanto a noturna. Diferente do bairro Jeremias, os custos financeiros para os percursos externos foram avaliados, pois de acordo com as simulações, podem apresentar resultados menores em relação à variável “distância”.

A Figura 22 mostra em azul os custos mensais referentes à Rota atual e à Rota otimizada e, em vermelho, a diferença (redução) de custos entre as duas rotas. Observa-se que, com a rota otimizada, a redução dos custos de transporte chega a quase 17%, o que corresponde a aproximadamente R\$ 640,00. Estes valores são referentes aos custos com os trechos internos do percurso.

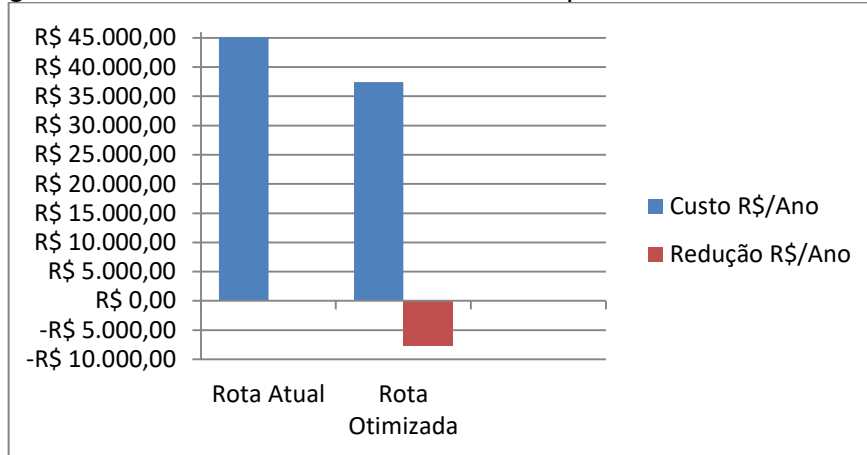
Figura 22 - Estimativa dos custos mensais para o bairro Liberdade.



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 23 apresenta os resultados totais anuais de custos e reduções para o bairro da Liberdade também para trechos internos do percurso. A redução anual dos custos foi de R\$ 7.670,00 aproximadamente.

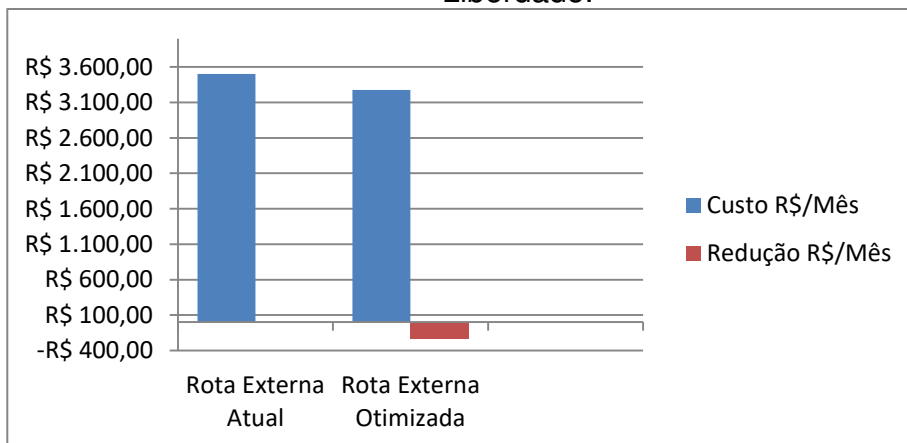
Figura 23 - Estimativa dos custos anuais para o bairro Liberdade.



Fonte: Elaborado pelo autor

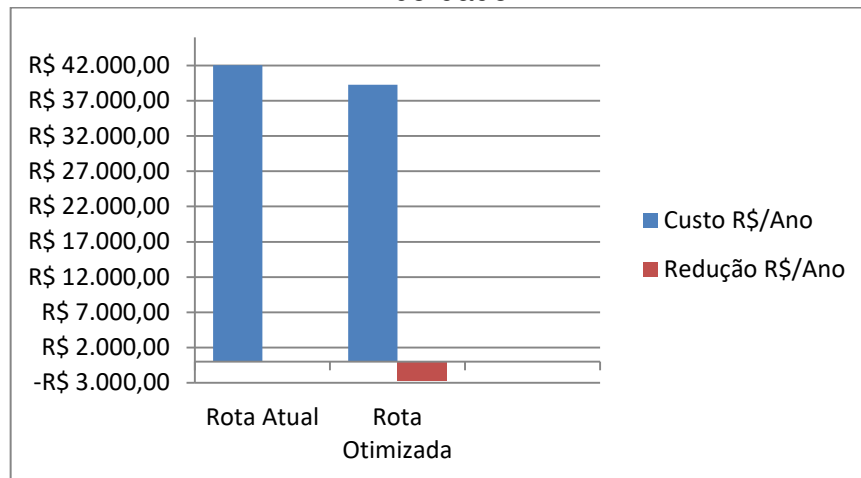
Com relação aos trechos externos do percurso, as Figuras 24 e 25 mostram a possibilidade de redução dos custos em 6%, indicando uma economia mensal de aproximadamente R\$ 228,00 e anual de R\$ 2.731,00.

Figura 24 - Estimativa dos custos mensais para os percursos externos do bairro Liberdade.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 25 - Estimativa dos custos anuais para os percursos externos do bairro Liberdade.



Fonte: Elaborado pelo autor

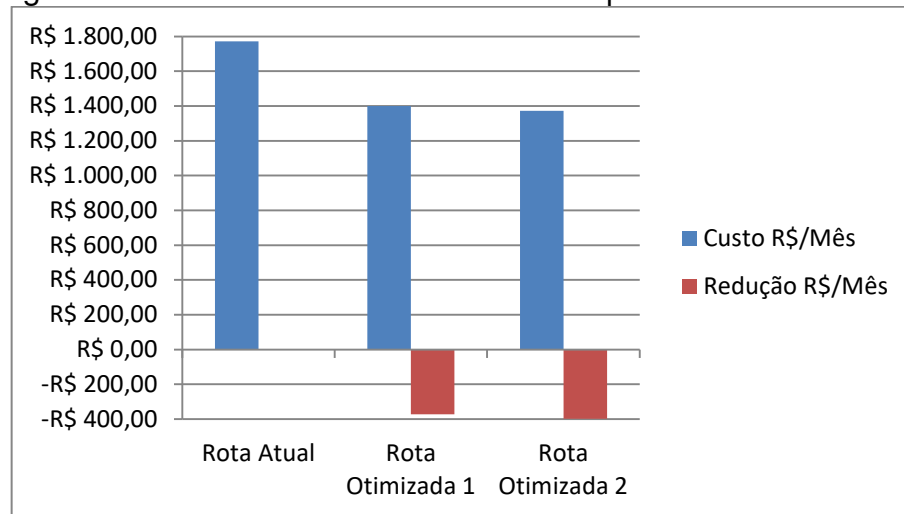
5.4.2 Resultado dos custos para o bairro Jeremias

Os custos calculados para o transporte de resíduos no bairro Jeremias são aqui mostrados por meio de gráficos, ilustrando três variáveis, sendo estas nomeadas Rota atual, Rota otimizada 1 e Rota otimizada 2. Assim como no item 5.3.2, a rota otimizada 2 incorpora a topografia da área estudada.

Os custos descritos são referentes apenas aos setores de coleta A e B do bairro Jeremias. Os custos decorrentes dos percursos externos não foram considerados, visto que, de acordo com os resultados obtidos com a otimização, os percursos externos realizados na rota atual apresentaram resultados satisfatórios, sendo esta parte do percurso considerada eficiente.

A Figura 26 apresenta em azul, os custos mensais referentes às três simulações, Rota atual, Rota otimizada 1 e Rota otimizada 2 e, em vermelho, as reduções obtidas com a utilização das rotas otimizadas 1 e 2. Pode-se observar que, com a utilização das rotas otimizadas, a redução dos custos já é significativa mesmo em ordem mensal, atingindo valores de 21% com a Rota otimizada 1 e 22,5% com a Rota otimizada 2. Financeiramente, seriam economizados mensalmente aproximadamente R\$ 372,00 com a Rota otimizada 1 e R\$ 398,00 com a Rota otimizada 2.

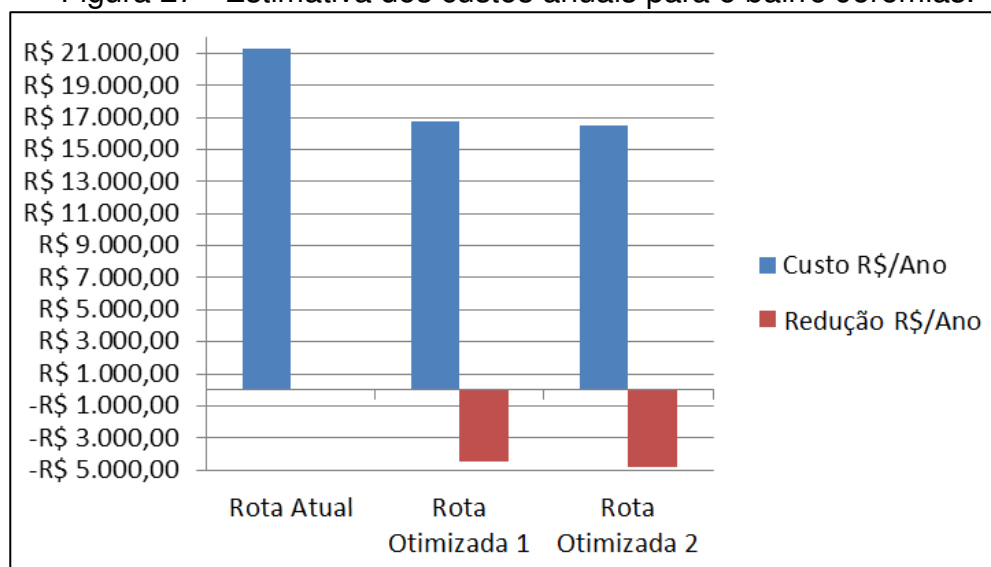
Figura 26 - Estimativa dos custos mensais para o bairro Jeremias.



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 27, apresenta os custos e reduções totais anuais obtidos por meio das simulações realizadas para o bairro Jeremias. Anualmente, as reduções superariam o valor de R\$ 4.000,00 (aproximadamente R\$ 4.463,00 com a Rota otimizada 1 e R\$ 4.782,00 com a Rota otimizada 2).

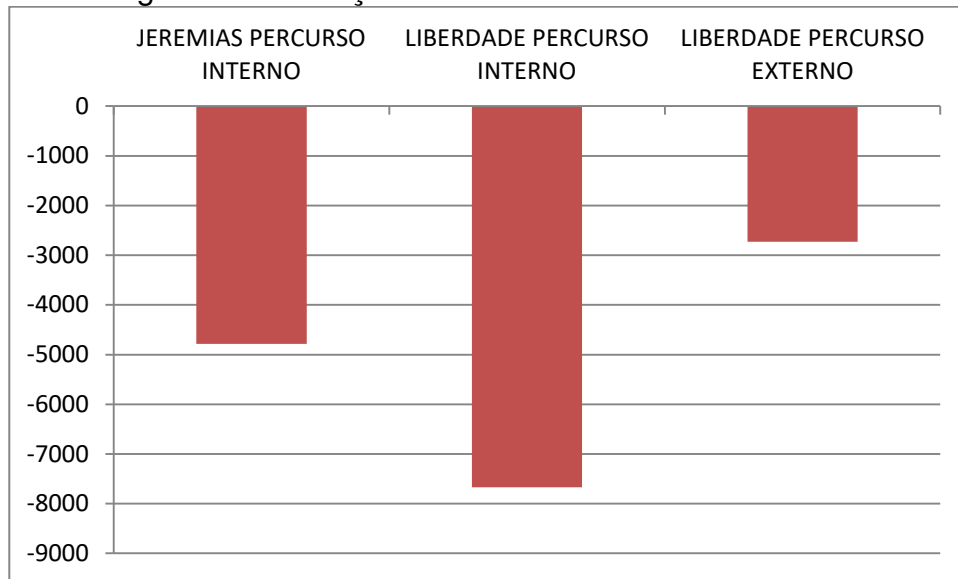
Figura 27 - Estimativa dos custos anuais para o bairro Jeremias.



Fonte: Elaborado pelo autor

Por fim, a Figura 28, mostra o somatório das reduções (economias) nos custos em toda a área estudada (Jeremias e Liberdade). De acordo com o apresentado na figura 28, a empresa poderia economizar, anualmente, mais de R\$ 15.000,00.

Figura 28 - Reduções anuais da área de estudo em reais.



Fonte: Elaborado pelo autor

Este estudo foi realizado para apenas dois bairros da cidade de Campina Grande, logo, pode-se concluir que, com um estudo para toda a cidade, a coleta e transporte dos resíduos sólidos poderá obter resultados expressivos em relação a economia financeira, além de proporcionar um maior lucro para a empresa com a diminuição de diversos insumos (pneus, manutenção dos veículos, combustível, horas extras para os funcionários etc.) Esta economia pode também ser revertida em melhorias no sistema de coleta e transporte da cidade como, por exemplo, curso de aperfeiçoamento dos funcionários, viabilidade de implantação de uma estação de transferência de resíduos, manutenção da frota de veículos e etc. Os bons resultados comprovam a importância de se fazer um estudo para otimizar a rota de coleta e transporte dos resíduos sólidos na cidade de Campina Grande.

6 CONCLUSÕES

A roteirização de veículos coletores de lixo, no Brasil ainda é realizada, na maioria das vezes, a partir de experiências empíricas que, nem sempre, refletem num serviço de qualidade para a população ou numa melhor relação custo/benefício para as empresas prestadoras do serviço. Pensando nesta questão, foram propostas, neste estudo, rotas alternativas de coleta de resíduos sólidos domiciliares e comerciais na cidade de Campina Grande/PB visando à otimização do serviço prestado à população e à redução dos custos associados ao serviço.

Pode-se concluir que as rotas atuais dos bairros Liberdade e Jeremias podem ser melhoradas, uma vez que os percursos improdutivos obtidos nas rotas atuais apresentam valores altos, 30,13 e 31,56% respectivamente, da rota total das áreas de coleta.

O principal empecilho para a realização da coleta no bairro Liberdade está associado ao tráfego de veículos, comprometendo a variável tempo, pois são necessárias quase 12 horas para o cumprimento do serviço. No bairro Jeremias a principal dificuldade está na acessibilidade das vias e declives acentuados em vários pontos da área de coleta.

Os resultados das rotas otimizadas mostraram-se relevantes, pois houve reduções percentuais de 17% para o bairro Liberdade e 21% para o bairro Jeremias em comparação com as distâncias percorridas nas rotas atualmente executadas pelos veículos coletores. Tais reduções foram possíveis porque, nas rotas otimizadas, os percursos improdutivos reduziram 56,36% no bairro Liberdade e 66,41% no bairro Jeremias. Os percursos improdutivos obtidos para os bairros Liberdade e Jeremias compreenderam, respectivamente 15,84% e 13,41%, resultados que estão abaixo da margem sugerida pela literatura que é 20% da rota total.

Em relação ao tempo de serviço, as rotas otimizadas apresentaram percentual de redução de 46% para o bairro Liberdade e 33% para o bairro Jeremias em relação ao tempo gasto com o atual percurso. Essa redução de tempo propicia uma melhoria do serviço prestado à população, pois reduz a permanência dos veículos coletores nas ruas dos bairros e possibilita uma melhor qualidade de vida ao gari e ao motorista uma vez que as atividades de recolhimento e transporte de lixo são consideradas insalubres.

Sobre a avaliação do turno de coleta no bairro Liberdade, constatou-se que o horário de coleta mais adequado para o bairro é o noturno, sob o ponto de vista logístico, pois esse apresentou redução de 21,7% em relação ao tempo gasto da rota otimizada que representa o período diurno. Embora os resultados da coleta noturna sejam mais interessantes que os da coleta diurna, a mudança de horário pode acarretar transtornos à população do bairro e, portanto, antes que tal mudança seja concretizada, recomenda-se um estudo mais detalhado do aspecto social associado à questão.

Com relação à otimização da rota do bairro Jeremias considerando a topografia, os resultados apresentam uma redução de 22,5% da distância em relação a rota atual, apresentando um resultado que se aproxima um pouco mais da realidade, sendo assim, aumentando as chances de sucesso na implantação desta rota.

Sobre as otimizações dos percursos externos, constatou-se que, de uma forma geral, as atuais rotas realizadas pelos veículos para transporte dos resíduos ao destino final, nos dois bairros, estão compatíveis com o esperado. No entanto, para bairro Liberdade, a distância ainda pode ser reduzida em 6% em relação ao percurso externo atual. Observou-se também que os percursos externos são bem significativos, ambos maiores que os percursos nas áreas de coleta. Em vista disso, para que a melhoria logística do gerenciamento de resíduos da cidade de Campina Grande – PB seja plausível, deve-se avaliar a possibilidade de implantação de uma estação de transferência.

Com relação aos custos de transporte das áreas de estudo, conclui-se que a empresa poderia economizar, anualmente, mais de R\$ 15.000,00 com a implantação das rotas otimizadas nos dois bairros. Os resultados podem ser ainda mais expressivos se o estudo for expandido para todos os bairros da cidade. Tais economias financeiras podem ser destinadas à melhoria do sistema de coleta e transporte da cidade como um todo.

Por fim, sugere-se para trabalhos futuros a análise da viabilidade da instalação de uma estação de transferência de resíduos sob ponto de vista econômico, ambiental e social.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 10.004 (2004) - Resíduos Sólidos - Classificação. São Paulo/SP, 71 p.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2012. São Paulo: ABRELPE, 2013.

_____, Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2014. São Paulo: ABRELPE, 2014.

BELTRAMI, E. J.; BODIN, L. D. Networks and Vehicle routing for municipal waste collection Networks, New York, v. 4, p. 64-69, 1974.

BRASIL. Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos - Instrumento de Responsabilidade Socioambiental na Administração Pública. Brasília, 2014. Disponível em:
<http://www.comprasgovernamentais.gov.br/arquivos/cartilhas/cartilha_pgrs_mma.pdf>. Acesso em 28 jun. 2016.

BRASIL. Presidência da República. Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 02 de agosto de 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.

Castro, L. B.; Faria, C. A. Cadastramento e Otimização de Rotas e Setores do Serviço de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares com o Uso de GPS e Programa TransCAD. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, (2007).

DECOPE - Departamento de Custos Operacionais. Manual de Cálculo de Custos e Formação de Preços do Transporte Rodoviário de Cargas. 2014. 84p.

Google Maps. Disponível em: <<https://maps.google.com.br/>>. Acesso em 11 de janeiro de 2016

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 219 p. ISBN 978-85-240-4135-8.

JACINTO, J. P.; ROSA, R. A.; BANOS, R. S. Heurística para solução do problema da coleta de resíduos sólidos domiciliares (RSD) com base no problema do carteiro chinês capacitado com múltiplas viagens (PCCC-MV). TRANSPORTES, v. 22, n. 1, p. 44-55. 2014.

JUNIOR, A. P.; FILHO, P. C. O. Análise de rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares com uso de geoprocessamento, 2010.

KONOWALENKO, F.; BENEVIDES, P. F.; COSTA, D. M. B.; BARBOSA, A. O.; NUNES, L. F. APLICAÇÃO DE UM ALGORITMO GENÉTICO PARA O PROBLEMA DO CARTEIRO CHINÊS EM UMA SITUAÇÃO REAL DE COBERTURA DE ARCOS. Revista Ingeniería Industrial, v. 11, n. 1, p. 27-36. 2012.

LEITE, V. D.; PRASAD, S. & LOPES, W. S. Estudo Sócio-Ambiental do Lixão da Cidade de Campina Grande, PB. In: Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Joinville, 14 a 19 de Setembro, 2003.

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. 181-196. 2012.

MARTINS, E. M. O.; SILVA, F. F.; VIEIRA, A. S.; VENTURA, A. F. A.; VENTURA JÚNIOR, R. DETERMINAÇÃO DO PERCURSO MÍNIMO PARA COLETA SELETIVA DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CIDADE DE SOUSA NO SERTÃO DO ESTADO DA

PARAÍBA. Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento, v. 6, n. 2, p. 268-278. 2014.

MELQUIADES, J. A. R.; ASSUNÇÃO, L. T.; FONSECA, A. P. MODELO PARA A ROTEIRIZAÇÃO DO PROCESSO DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO CONTEXTO DA LOGÍSTICA URBANA. In: XXVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Curitiba. 2014.

MONTEIRO, J. H. P. [et al.]. Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos / José Henrique Penido Monteiro...[et al.]; coordenação técnica Victor ZularZveibil; elaborado pelo IBAM- Instituto Brasileiro de Administração Municipal. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

NR 15, de 06 de julho de 1978. Atividades e Operações Insalubres. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 06 de julho de 1978.

PAES; G. F. OTIMIZAÇÃO DE ROTAS PARA A COLETA DO LIXO DOMÉSTICO: UM TRATAMENTO GRASP DO PROBLEMA DO CARTEIRO CHINÊS MISTO (PCCM), 2004.

Paraíba Agora – Aterro sanitário coloca em risco a segurança da bacia hidrográfica da região. Disponível em:

<http://www.pbagora.com.br/conteudo.php?id=20111226141411&cat=paraiba&keys=cg-construcao-aterro-sanitario-poe-risco-seguranca-aerea-bacia-hidrografica-regiao>. Acesso 23 dez. 2015.

PLANSAB (2014) .Plano de Saneamento do município de Campina Grande Paraíba.

PEREIRA, C. D.; FRANCO, D.; CASTILHO Jr., A. B. Implantação de Estação de Transferência de Resíduos Sólidos Urbanos utilizando Tecnologia SIG. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, n. 27, p. 71-84. 2013.

PEREIRA, D. C.; FRANCO D.; CASTILHOS, B. A. Implantação de Estação de Transferência de Resíduos Sólidos Urbanos utilizando Tecnologia SIG, 2013

REIS, M. L. [et al.,]. Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2011; coordenação técnica Elizamar Pereira do Nascimento; elaborado pelo SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Brasília, 2013.

RIBEIRO, L. M. P.; MACHADO, R. T. M. A Importância da Logística na Gestão de Resíduos Sólidos em um Pequeno Município Mineiro: Decisões Estratégicas no Processo de Transporte e Roteirização. Revista de Administração da UNIMEP, v. 7, n. 2, p. 118-137. 2009.

SOUTO, F. B. D.; RAIMAM, M. P.; ALBINO, U. B. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM PORTO DE MOZ – PA: PROBLEMAS E OPORTUNIDADES. Revista Geográfica Acadêmica, v. 7, n. 2, p. 85-94. 2013.

SOUTO, G. D. B.; POVINELLI, J. Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.