

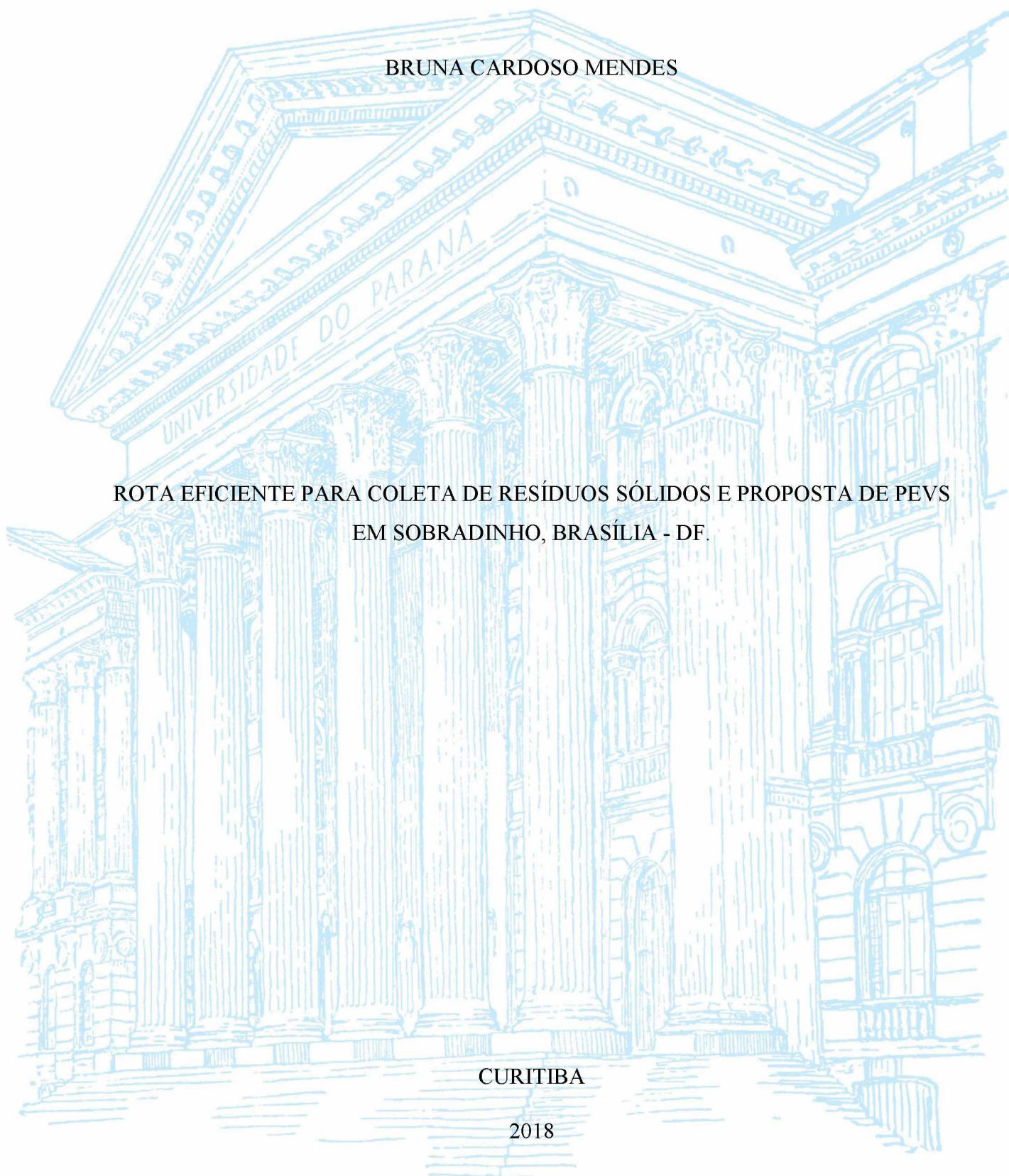
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNA CARDOSO MENDES

ROTA EFICIENTE PARA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS E PROPOSTA DE PEVS  
EM SOBRADINHO, BRASÍLIA - DF.

CURITIBA

2018



BRUNA CARDOSO MENDES

ROTA EFICIENTE PARA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS E PROPOSTA DE PEVS  
EM SOBRADINHO, BRASÍLIA - DF.

Trabalho de Conclusão apresentado como requisito para obtenção do título de especialista, curso MBA de Gestão de Negócios Ambientais, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Dr. Alexandre Amorim Monteiro

Coorientadora: M.Sc Tatiana Cristina  
Guimarães Kaminski

CURITIBA

2018

## RESUMO

O acelerado processo de consumo e troca de bens impacta significativamente a produção de resíduos passíveis de reciclagem. Neste trabalho será apresentada uma proposta de instalação de Pontos de Entrega Voluntária (PEV) para resíduos da logística reversa e uma rota eficiente para sua coleta. Tanto os locais de instalação quanto a proposta de rota foram processadas em software gratuito QGIS, num ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) utilizando como base a análise espacial. Aos PEVs foram consideradas as vias próximas às residências, comércio e escolas, que são tidas como atrativas à visita dos moradores, enquanto para a proposta de rota eficiente foi observada a distância a ser percorrida pelo veículo coletor e o tempo gasto em trajeto para coletar o resíduo de todos os pontos com recipientes instalados, assumindo um tempo médio de parada de veículo de 5 minutos em cada ponto. O trabalho possui duas etapas gerais, a primeira, em que são definidos os locais para instalação dos PEVs; e a segunda, em que são propostas as rotas. Resultante da análise espacial foram definidos 23 locais para instalação de recipientes coletores, um ponto de demarcação de início de rota e outro ponto indicação de fim da rota, ao todo 25 pontos. A partir dos locais de instalação das PEVs foram obtidas duas rotas eficientes para o percurso do veículo, uma com menor tempo e outra com menor distância, com tempo de rota de 141 min e 16,521 km de distância e 142 min e 16,102 km de distância, respectivamente. Foi definida como melhor rota a de menor distância por reduzir os custos operacionais e minimizar o impacto ambiental das atividades.

Palavras-chave: Roteirização para coleta. Distribuição espacial de coletores. Geoprocessamento.

## ABSTRACT

The accelerated process of consumption and exchange of goods significantly impacts the production of recyclable waste. In this paper, a proposal will be presented for the installation of Voluntary Delivery Points (VDP) for waste from reverse logistics and an efficient route for their collection. Both the installation sites and the route proposal were processed in free QGIS software in a Geographic Information System (GIS) environment based on spatial analysis. The ENPs were considered the routes close to the residences, commerce and schools, which are considered as attractive to the visit of the residents, while for the proposal of efficient route was observed the distance to be covered by the vehicle collector and the time spent in route to collect the residue of all points with containers installed, assuming an average vehicle stop time of 5 minutes at each point. The work has two general steps, the first, in which the locations for the installation of the ENPs are defined; and the second, where routes are proposed. Resulting from the spatial analysis, 23 sites were defined for the installation of collecting vessels, a starting point for demarcation and another point indicating the end of the route, in all 25 points. From the PEV installation sites, two efficient routes were obtained for the route of the vehicle, one with less time and one with less distance, with route time of 141 min and 16,521 km of distance and 142 min and 16,102 km of distance, respectively. It was defined as the best route from the least distance by reducing operating costs and minimizing the environmental impact of activities.

Keyword: Route for collection. Spatial distribution of collectors. Geoprocessing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Regiões administrativas do Distrito Federal.....	5
Figura 2 - Quadras selecionadas para estudo de pontos de recipientes de coleta e rota de coleta periódica. ....	14
Figura 3 - Representação de arcos e nós e rotas e caminhos possíveis. Adaptado de Pallavine (2001) .....	17
Figura 4 - Área de atendimento do ponto com recipiente de coleta. ....	19
Figura 5 - Proposta de rota de menor distância para coleta resíduos em Sobradinho – DF. ....	21
Figura 6 - Proposta de rota de menor tempo para coleta de resíduos em Sobradinho – DF. ...	22
Figura 7 - Comparativo entre as propostas de rotas para coleta de resíduos em Sobradinho – DF. ....	23

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Legislação distrital com temática de gestão de resíduos sólidos .....	6
Tabela 2 – Contagem de pontos de coleta para resíduos da logística reversa por tipo. ....	8
Tabela 3 - Informações de tempo e distância por melhor rota. ....	23

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ADASA	- Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico
ANVISA	- Agência Nacional De Vigilância Sanitária
CET	- Companhia de Engenharia de Tráfego
CODEPLAN	- Companhia de Planejamento do Distrito Federal
COTRAN	- Conselho Nacional de Trânsito
DF	- Distrito Federal
GDF	- Governo do Distrito Federal
PAP	- Porta a Porta
PDAD	- Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios
PEV	- Ponto de Entrega Voluntária
PNSR	- Política Nacional De Resíduos Sólidos
RA	- Região Administrativa
SEGETH	- Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação
SEMA	- Secretaria de Estado do Meio Ambiente
SIG	- Sistemas de Informações Geográficas
SISNAMA	- Sistema Nacional do Meio Ambiente
SLU	- Serviço de Limpeza Urbana
SNVS	- Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SUASA	- Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
TLP	- Taxa de Limpeza Pública
UTM	- Universal Transversa de Mercator

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1.OBJETIVOS.....	2
1.1.1.OBJETIVOS GERAIS .....	2
1.1.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.2.JUSTIFICATIVA .....	2
<b>2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>3</b>
2.1.A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E A LOGÍSTICA REVERSA.....	3
2.2.DISTRITO FEDERAL: LEGISLAÇÃO E GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	4
2.3.SOBRADINHO: RESÍDUOS SÓLIDOS DA LOGÍSTICA REVERSA, OS PEP E A ROTEIRIZAÇÃO PARA COLETA .....	8
2.4.GEOTECNOLOGIAS APLICADA A COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....	11
<b>3.METODOLOGIA.....</b>	<b>14</b>
3.1.ÁREA DE ESTUDO .....	14
3.2.MÉTODO APLICADO .....	15
3.2.1.Para os locais de instalação de pontos de coleta.....	15
3.2.2.Para definição de melhor rota.....	16
<b>4.RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>19</b>
4.1.PROPOSTA DE PONTOS DE INSTALAÇÃO DE RECIPIENTES COLETORES .....	19
4.2.PROPOSTA DE ROTA PARA COLETA DE RESÍDUOS .....	21
4.2.1.Melhor rota por menor distância .....	21
4.2.2.Melhor rota por menor tempo.....	22
4.2.3.Análise comparativa entre as rotas propostas.....	22
<b>5.CONCLUSÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>6.REFERENCIAS .....</b>	<b>26</b>



## 1. INTRODUÇÃO

A destinação adequada dos resíduos sólidos é um desafio aos gestores territoriais, principalmente por que vários fatores podem influenciar na geração de resíduos sólidos, como fatores culturais, hábito de consumo, padrão de vida e a renda familiar, quantidade de pessoas por domicílio e o tipo de residência (BIDONE e POVINELLI, 1999; CAMPOS, 2012). Mais delicado ainda é a destinação adequada dos resíduos componentes da logística reversa, que requerem coleta, transporte e acondicionamento particulares conforme o tipo de resíduo, e são produzidos em quantidades diferentes que os resíduos residenciais.

No ano de 2010 foi promulgada a lei 12.305 (BRASIL, 2010), que institui a Política de Resíduos Sólidos (PNRS), e é regulamentada pelo decreto federal 7.404/2010. Dentre os princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações a serem adotadas pelo Governo Federal, sozinho ou em regime de cooperação com Estados, Municípios, Territórios e Distrito Federal ou particulares, é definida a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos e a implantação de sistemas de logística reversa.

A logística reversa é um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinado a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou para outra destinação final ambientalmente adequada. Estes sistemas serão implantados e operacionalizados mediante acordos setoriais ou termos de compromisso, ou algum regulamento específico (BRASIL, 2010). Sua eficiência está em função dos planos de gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, que devem envolver a sociedade civil e o poder público nas medidas praticadas (ROCHA et al., 2012). Entre as ações trabalhadas na logística reversa cita-se a coleta porta-a-porta (PAP) e os pontos de entrega voluntária (PEV), além da educação ambiental, que é responsável pela sensibilização da comunidade local (ALVAREGNA, 2015).

O Distrito Federal é a sede da capital do Brasil, Brasília, e possui 31 regiões administrativas, que são similares a cidades, mas não possuem prefeitos. Uma das regiões administrativas é Sobradinho, que está abrangida pela legislação distrital nº 5.418/2014, que estabelece a Política Distrital de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Esta região administrativa foi fundada em meados de 1960 quando da inauguração de Brasília, e atualmente está classificada como de renda média alta, com uma renda per capita de R\$ 1.775,79 reais, ocupando a 10ª posição entre maiores médias de renda familiar (CODEPLAN, 2010).

Diante do exposto, Sobradinho foi selecionado para proposição de locais para instalação de pontos de entrega voluntária de resíduos sólidos da logística reversa que se localizem o mais próximo possível dos domicílios, para facilitar o descarte adequado destes. Tais resíduos requerem uma logística de devolução diferenciada e por este motivo a configuração da cidade e a população a ser atendida são fatores considerados na análise espacial para proposta de instalações de coleta e de rota para visita aos pontos de coleta, que são os objetivos deste trabalho.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivos Gerais

Propor locais para instalação de recipientes coletores para resíduos sólidos contemplados pela logística reversa, como pilhas, lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista, e os produtos eletroeletrônicos.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

São objetivos específicos:

- Análise das vias de acesso as ruas residenciais;
- Identificação das vias de maior fluxo;
- Propor locais relevantes para implantação de recipientes coletores considerando a proximidade às casas, comércio e lazer;
- Proposta de melhor trajeto por menor distância;
- Proposta de melhor trajeto por menor tempo de execução da coleta;
- Seleção de rota eficiente.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

A proximidade entre a origem do resíduo e o local de descarte pode facilitar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial ou outra destinação final ambientalmente adequada, dessa forma a instalação de recipientes coletores próximos a fonte geradora, neste caso os residentes, facilitará o acesso da comunidade aos locais de descarte. A roteirização de trajeto a percorrer para coleta de resíduos visa reduzir o impacto ambiental derivado das muitas ações com fins de transportes e destinação do resíduo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E A LOGÍSTICA REVERSA

A lei federal 12.305 de 2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), dispondo, entre outros pontos, sobre as diretrizes relativas a gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos e as responsabilidades dos geradores e do poder público (BRASIL, 2010), é considerada um marco histórico da gestão ambiental no Brasil por possuir uma abordagem moderna do lixo urbano (ALVARENGA, 2015).

A PNRS ressalta a obrigatoriedade de tratamento dos resíduos sólidos e sua disposição final ambientalmente adequada, além de enfatizar que o Distrito Federal e os Municípios estão incumbidos de gerir integradamente os resíduos gerados nos respectivos territórios, sem prejuízo de competências de controle e fiscalização dos órgãos federais e estaduais, bem como da responsabilidade do gerador pelo gerenciamento de resíduos, a dita responsabilidade compartilhada (BRASIL, 2010).

A responsabilidade compartilhada prevista na PNRS abrange os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares de serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos. Aos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes é previsto ainda que a fabricação e uso de seus produtos gerem a menor quantidade de resíduos sólidos possível, incluindo neste quesito o recolhimento dos produtos e resíduos remanescentes após o uso e a destinação final adequada para produto que seja objeto de sistema de logística reversa.

Estão obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricante, importadores, distribuidores e comerciantes de:

- A) Agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, ou em normas técnicas;
- B) Pilhas e baterias;
- C) Pneus;
- D) Óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;
- E) Lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;

#### F) Produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

Após promulgação da lei federal nº 12.305/2010, surge o decreto federal nº 7.404/2010 que regulamenta a lei e cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para implantação de sistemas de logística reversa, além de outras providências. Nele é novamente mencionada a responsabilidade compartilhada e a obrigação do consumidor em participar, sempre que estabelecido, do sistema de coleta seletiva e dos sistemas de logística reversa, além de acondicionar de forma adequada o resíduo até realizar a destinação final. No decreto, os sistemas de logística reversa podem ser implantados e operacionalizados por meio dos instrumentos de acordos setoriais, regulamentos expedidos pelo poder público ou por termos de compromisso, ressaltando que estes instrumentos podem sempre ampliar as medidas de proteção ambiental, mas não abrandar.

A obrigatoriedade de a população em destinar corretamente os resíduos gerados quando houver o serviço de coleta compatível é facilitada por ações de coleta porta-a-porta (PAP) e coleta por entrega voluntária em pontos fixos (PEV). Na coleta PAP o resíduo é separado na fonte geradora e acondicionado para coleta em dias e horários pré-definidos ou encaminhar/ levar o resíduo a um local específico, já os PEV são locais em que os indivíduos podem ir para descartar seus resíduos, ou postos de troca, ou entregam a catadores, a sucateiros ou entidades beneficentes (ALVAREGNA, 2015).

Cabe então aos Estados, Municípios, Territórios e Distrito Federal complementar por meio de regulamentação a execução do previsto na esfera federal para alcançar o objetivo da gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, que é não gerar, reduzir, reutilizar, reciclar, tratar os resíduos sólidos e a dispor ambientalmente os rejeitos de forma adequada o resíduo.

## 2.2. DISTRITO FEDERAL: LEGISLAÇÃO E GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

O Distrito Federal é a sede da capital do país, Brasília, que foi inaugurada em 1960. A construção da capital teve início em 1956 e em 1960 a estrutura básica da cidade estava edificada. O Distrito Federal possui uma área de 5.779,997 km<sup>2</sup>, uma população de mais de 2 milhões de pessoas e um lago artificial, o Lago Paranoá (IBGE, 2018).

Conforme a construção da cidade acontecia surgiam os acampamentos ao redor do Plano Piloto para abrigar os trabalhadores. Estes acampamentos tornaram-se inicialmente cidades satélites e agora são 31 regiões administrativas - Figura 1 (GDF, 2018). As regiões

administrativas são similares as cidades, porém não possuem prefeitos e nem vereadores e sim administradores regionais e secretários indicados pelo governador.

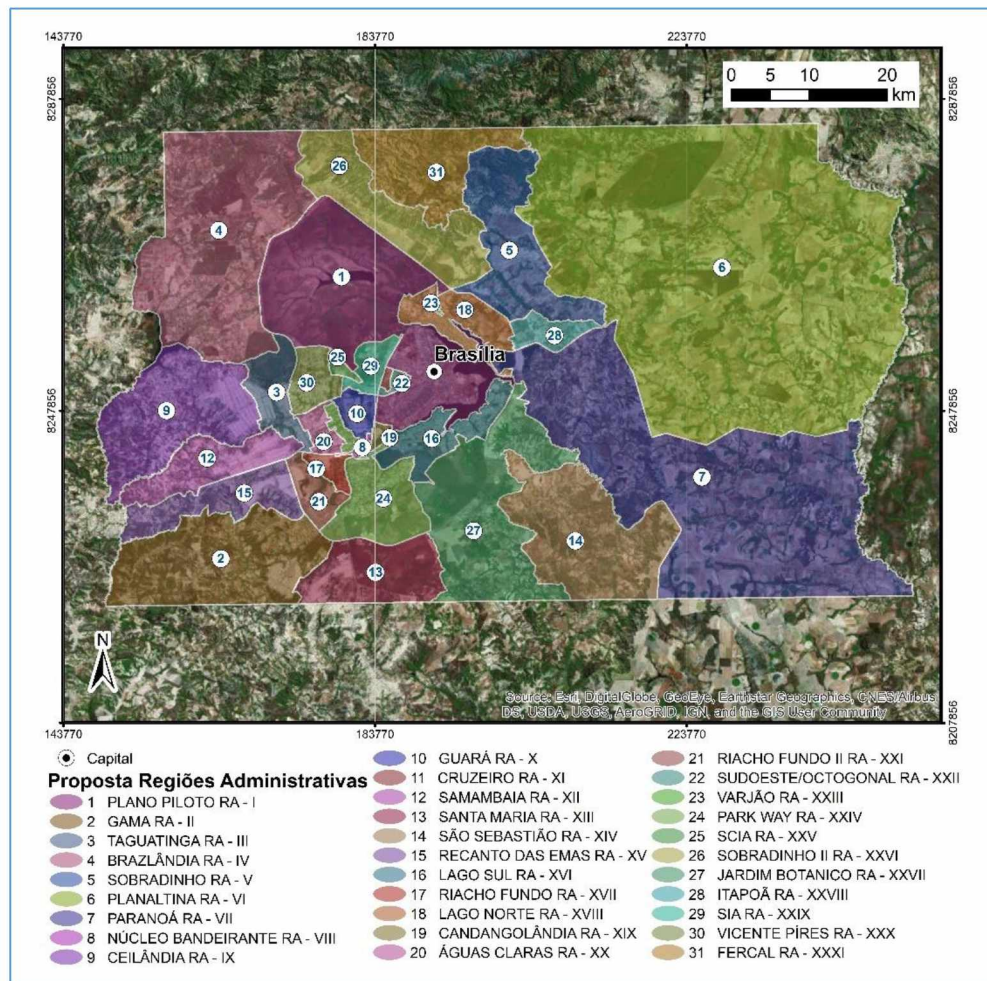


Figura 1 - Regiões administrativas do Distrito Federal. Fonte 1: SEGETH, 2018.

A primeira legislação com temática abrangente dos resíduos sólidos contemplados pela logística reversa surge em 1993 com a lei distrital nº 414, e a mais recente dispõe sobre a Política Distrital de Resíduos Sólidos, como pode ser visto na Tabela 1.

A legislação que se aplica às pilhas, lâmpadas fluorescentes, baterias de celular e artefatos metálicos é a lei nº 4.154/2008, que é anterior a lei federal da PNRS e enfatiza a proibição do descarte destes resíduos em lixo doméstico ou comercial, sua disposição em depósitos públicos ou incinerados, e a obrigatoriedade de fabricantes e representantes comerciais exigirem dos consumidores pilhas e baterias usadas (GDF, 2008).

Em 2014 a Câmara Legislativa do Distrito Federal promulga a lei distrital nº 5.418 que dispõe sobre a Política Distrital de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Segundo a lei, se o titular do serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, por acordo

setorial ou termo de compromisso firmado com o setor empresarial, encarregar-se de atividades de responsabilidade dos fabricantes, dos importadores, dos distribuidores e dos comerciantes nos sistemas de logística reversa dos produtos e das embalagens deve ser remunerado conforme acordo entre as partes (GDF, 2014).

Tabela 1 – Legislação distrital com temática de gestão de resíduos sólidos.

<b>Legislação ou Normativa Distrital</b>	<b>Tema</b>
Lei nº 414/ 1993	Dispõe sobre produção, armazenamento, comercialização, transporte, consumo, uso, controle, inspeção, fiscalização e destino final de agrotóxicos, seus componentes e afins no Distrito Federal DF, e dá outras providências
Lei nº 3.651/05	Dispõe sobre a coleta, destinação final e reutilização de embalagens, garrafas plásticas e pneumáticos.
Lei nº 4.134/08	Dispõe sobre a coleta, transporte e destinação final de óleos utilizados na fritura de alimentos no Distrito Federal e dá outras providências.
Lei nº 4.154/08	Dispõe sobre o descarte e a destinação final de lâmpadas fluorescentes, baterias de telefone celular, pilhas que contenham mercúrio metálico e demais artefatos que contenham metais pesados no Distrito Federal.
Lei nº 5.418/14	Dispõe sobre a Política Distrital de Resíduos Sólidos e dá outras providências.

Fonte 2: o autor.

No Distrito Federal a gestão da limpeza urbana e do manejo de resíduos sólidos urbanos é realizada por uma autarquia vinculada à Secretaria de Estado de Infraestrutura e Serviços Públicos denominada Serviço de Limpeza Urbana (SLU). Esta autarquia cobra uma taxa de limpeza pública, a TLP, diretamente aos proprietários dos imóveis, para a realização do serviço (CODEPLAN, 2010). Apesar de sua capacidade esta autarquia não possui atuação sobre os resíduos sólidos contemplados nos sistemas de logística reversa, já que não há acordo ou contrato firmado (SLU, 2016).

Para a execução das atividades sob a responsabilidade do SLU a autarquia firma contratos e convênios que abrange a manutenção das atividades, as obras, a aquisição de equipamentos, a contratação de terceirizados, os serviços de limpeza urbana e a coleta seletiva. A coleta convencional dos resíduos é realizada por duas empresas, a Sustentare, que coleta 50% dos resíduos, e a Valor Ambiental, que coleta os outros 50% dos resíduos e atende 53% da população, já a coleta seletiva dos resíduos é realizada por três empresas, a CGC, a Valor Ambiental e a Quebec, com respectivamente, 53% da massa coletada, 43% e 4%. Os resíduos sólidos são destinados ao aterro controlado do Jóquei na cidade Estrutural, e os rejeitos são

encaminhados ao aterro sanitário de Brasília na região administrativa de Samambaia (SLU, 2016).

Segundo o SLU (2016) a folha de orçamento possui mais de 75% destinada a limpeza pública, são R\$ 320.194, 299 reais de um total de R\$410.261,73 reais. Para os serviços de limpeza urbana no ano de 2016 foram coletados, em média, 2.616 t/dia de resíduos domiciliares e assemelhados, destes 55% são oriundos de unidades de transbordo, onde os resíduos foram transferidos dos caminhões compactadores para carretas, visando a redução dos custos de transportes; e 27% foi processado em unidades de Tratamento Mecânico Biológico (TMB) para a retirada de materiais recicláveis secos, como papel, papelão, plásticos e matéria orgânica para compostagem. Dos resíduos tratados nas unidades TMB foram aproveitadas 34 t/dia de recicláveis e 15 9t/dia de composto orgânico. Ainda segundo a autarquia, em 2016 deixaram de ir para o aterro controlado 290 t/dia de resíduos, um correspondente de 10,5% do total de resíduos coletados no Distrito Federal em função dos trabalhos contratados pelo SLU.

Dentro das metas e desafios da autarquia consta: 1) a implantação de “papa entulhos”, que são pontos de entrega voluntários de entulhos, podas, volumosos, materiais recicláveis e óleo de cozinha usado. Estes coletores serão implantados a uma distância máxima de 5 km entre um e outro para que os usuários se desloquem no máximo em 2,5 km para descartar corretamente seus resíduos. Porém, atendem apenas as regiões administrativas de Ceilândia, Taguatinga, Brazlândia, Gama, Guará e Planaltina, e não permitem a destinação de resíduos domésticos, industriais, de serviços de saúde e eletrônicos, pneus, embalagens de agroquímicos, de produtos fitossanitários e de óleos lubrificantes, lâmpadas, pilhas e baterias, equipamentos ou materiais que tenham metais pesados, gesso, espelhos, vidros, amianto, tintas, solventes e tonner, tal como a descarga de caminhões ou carretas. O segundo desafio consta: 2) a “reformulação da coleta seletiva” em que os locais com maior concentração de materiais recicláveis são reconhecidos como prioritárias para a implantação da coleta visando a racionalização da prestação deste serviço e a melhor relação custo-benefício para cada região administrativa (SLU, 2016).

A Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Distrito Federal (SEMA) publicou em 2017 uma lista atualizada com 128 pontos de coleta de produtos da logística reversa. Quando separados por tipos de resíduos observa-se 10 pontos para lâmpada fluorescente, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista; 32 pontos para eletroeletrônicos; 42 para resíduos de medicamentos; 2 pontos para resíduos derivados de agrotóxicos, seus resíduos e embalagens; e 40 pontos para pilhas e baterias, como mostra a Tabela 2 (SEMA, 2017). Estes pontos de coleta



podem ser compreendidos como pontos de entrega voluntária (PEV), em que o gerador do resíduo da logística reversa se desloca até o ponto de coleta e acondiciona o resíduo no local adequado para uma posterior restituição ao setor empresarial ou destinação final ambientalmente correta (ALVARENGA, 2015).

Tabela 2 – Contagem de pontos de coleta para resíduos da logística reversa por tipo.

<b>Resíduos</b>	<b>Total de pontos de coleta</b>
Lâmpada fluorescente, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista	10
Produtos eletroeletrônicos	32
Medicamentos	42
Agrotóxicos, seus resíduos e embalagens	4
Pilhas e baterias	40

Fonte 3: SEMA, 2017.

Dentre os resíduos abrangidos pela logística reversa o SLU recebeu e recolheu em 2016 um total de 3.925 t/dia de pneus inservíveis dispostos inadequadamente em logradouros públicos, porém, a ação ocorreu apenas em função da necessidade de proteção da saúde pública, já que por Lei Federal 12.305/2010 e a Resolução do Conama nº 416/2009 este serviço é de responsabilidade do importador, fabricante, distribuidor e comerciante (SLU, 2016).

### 2.3. SOBRADINHO: RESÍDUOS SÓLIDOS DA LOGÍSTICA REVERSA, OS PEP E A ROTEIRIZAÇÃO PARA COLETA

A região administrativa de Sobradinho foi fundada em 1960 para abrigar a população que vivia em acampamentos na construção de Brasília e ao final deste ano tinha uma população de mais de 8.000 famílias. Posteriormente a área foi adensada por moradores que compraram lotes regularizados (CODEPLAN, 2014). Atualmente Sobradinho possui uma população estimada de 62.763 habitantes e uma área de 201,22 km<sup>2</sup> (CODEPLAN, 2017).

Os resíduos recolhidos em Sobradinho têm destinação a uma estação de transbordo que retém os resíduos por até 36 horas para que uma maior quantidade de material possa ser transportada em um veículo diferente do veículo coletor. No ano de 2016 a estação de transbordo de Sobradinho recebeu um total de 115.552 ton/dia. O objetivo da estação de transbordo é reduzir o tempo gasto no transporte e, conseqüentemente, os custos com o deslocamento do caminhão coletor desde o ponto inicial do roteiro até o local de disposição final (COSTA, JUNIOR e PICOLI, 2013). A coleta dos resíduos sólidos convencionais é realizada pela empresa Sustentare, e a coleta seletiva é realizada pela empresa CGC, que assumiu estas atribuições a partir do fim do contrato da Quebec em 2015. Na estação de



transbordo de Sobradinho tanto o resíduo convencional quanto o da coleta seletiva são separados e pesados, em que os resíduos são direcionados ao aterro controlado do Jóquei, e os rejeitos serão encaminhados ao aterro sanitário de Brasília (SLU, 2016).

Apesar de poder receber os resíduos destinados a logística reversa na estação de transbordo de resíduos sólidos, é vedado o armazenamento destes resíduos na mesma área destinada ao transbordo de resíduos sólidos urbanos ou de grandes geradores. Para a recepção destes resíduos é necessária celebração de contrato de prestação de serviços especiais e a remuneração do prestador do serviço (ADASA, 2017).

No contexto dos pontos de coleta de resíduos sólidos contemplados pela logística reversa, o bairro de Sobradinho possui apenas dois pontos de coleta, ambos destinados aos resíduos do tipo eletroeletrônicos (SEMA, 2017). Os demais resíduos deveriam então ser acondicionados e encaminhados a um local de coleta compatível, porém, para a população, de forma geral, a melhor solução é a condução do resíduo sólido para longe, em locais afastados dos habitantes (GAZZINELLI, 2001), e em muitos casos, o descarte inadequado é feito próximo as moradias e cursos d'água e ocasionam e intensificam problemas ambientais de contaminação dos cursos d'água, assoreamento, enchentes, proliferação de doenças e mal cheiro (JACOBI e BENSEN, 2011). A proximidade do local gerador aos pontos de coleta dos resíduos é um estímulo ao descarte adequado dos resíduos para aproveitamento do que for possível e o encaminhamento do resíduo final ao aterro sanitário.

Segundo o manual de gerenciamento de resíduos sólidos da ANVISA (2006) o manejo dos resíduos, em seus aspectos intra e extra – estabelecimento, desde a geração até a disposição final, inclui as etapas de segregação, acondicionamento, coleta e transporte interno, armazenamento temporário, armazenamento externo, coleta externa, tratamento do resíduo e disposição final, que são descritas abaixo:

- Segregação: os resíduos são separados e selecionados conforme classificação adotada. A ação de separação dos resíduos é sempre na fonte que é produzido, pois não será manuseado posteriormente.
- Acondicionamento: os resíduos serão embalados em sacos ou recipientes adequados isolando-os do meio externo para evitar contaminação e afastando os vetores transmissores de doenças. As embalagens de acondicionamento podem ser diferenciadas por cores, símbolos e inscrições da classe pertencente. O agrupamento torna mais fácil o gerenciamento, transporte e tratamento do resíduo.

- Coleta e transporte interno: o resíduo é retirado dos pontos de geração e encaminhados ao local de armazenamento temporário ou externo com a finalidade de coleta seletiva. Cada resíduo é coletado por veículos específicos, em que as coletas são realizadas em horários fixos com roteiros pré-definidos em roteiros previamente estabelecidos para evitar coincidir com outras atividades de coleta.
- Armazenamento temporário: os resíduos coletados e dispostos em embalagens adequadas são acondicionados em local próximo ao de geração para posterior destinação final. Este procedimento otimiza o deslocamento entre os pontos geradores e o ponto destinado final, que pode ser um aterro sanitário ou uma cooperativa.
- Armazenamento externo: consiste no armazenamento dos resíduos já acondicionados em suas embalagens adequadas em ambiente exclusivo e com acesso facilitado para os veículos coletores, O ambiente exclusivo, também conhecido como abrigo, deve ser dimensionado de acordo com a quantidade de resíduos gerados, e deve possuir capacidade de armazenamento compatível com a periodicidade das coletas.
- Coleta externa: os resíduos são removidos do abrigo até uma unidade de disposição final, aplicando técnicas de preservação das condições do acondicionamento e integridade dos trabalhadores que manipulam os resíduos e o meio ambiente. Para o transporte são utilizados diferentes tipos de veículos.
- Tratamento dos resíduos sólidos: entende-se que qualquer processo manual, mecânico, físico, químico ou biológico que alterem as características dos resíduos com o objetivo de minimizar o risco a saúde, a segurança e saúde do trabalhador, e preserve a qualidade do meio ambiente. Os tratamentos podem ser aplicados no local gerador ou outro local, desde que observadas as condições de segurança para transporte entre o estabelecimento e o local de tratamento.
- Disposição final: como resultado dos tratamentos aplicados aos resíduos surgem os rejeitos, que são destinados aos locais adequados conforme critérios de construção e operação, incluindo o licenciamento ambiental.

A definição dos locais de instalação de recipientes coletores para resíduos sólidos é, geralmente, precedida por ações do pós-consumo, que incidam na minimização de geração dos resíduos e fomenta a cooperação da população para um gerenciamento integrado dos resíduos. Estas ações são realizadas considerando as condições territoriais, socioeconômicas e da

quantidade de resíduos gerados, já que as etapas de processamento pós-consumo incluem a geração do resíduo, o acondicionamento e a destinação final (AZEVEDO, 1996). Peixoto (2004) afirma que a coleta feita PAP possui percentuais de rejeitos em torno de 30% e os PEV em torno de 10%, ou seja, a sensibilização da comunidade é uma das etapas mais importantes e complexas na instalação de pontos de coleta porque envolve mudanças de hábitos.

A área de abrangência dos pontos instalados é determinante na quantidade de resíduos coletados mesmo com as ações de sensibilização da comunidade local. Estas áreas são definidas por estruturas geométricas denominadas diagramas de Voronoi. Apesar de estudos enfatizarem as possibilidades de aplicação dos diagramas ainda é necessário aprofundar na consideração de obstáculos, ou seja, barreiras lineares e barreiras fechadas (REZENDE et al., 2000; LOBO, 2003; GALVÃO et al., 2006; NOVAES et al., 2009; CARNASCIALI et al., 2011). Por isso os diagramas complementaram a análise espacial de distribuição dos pontos, sinalizando a possibilidade de uso do recipiente por moradores próximos ao local.

Além da instalação dos pontos com recipientes coletores é fundamental o estudo das rotas eficientes para visita periódica pelos veículos coletores. Este procedimento faz parte do gerenciamento dos resíduos e abrange ações operacionais, financeiras e planejamento administrativo para coletar, segregar, tratar e dispor os resíduos (VILHENA, 2002). O trajeto mal planejado pode onerar o transporte, gerar prejuízos e reclamações e ao mesmo tempo prejudica o tratamento e a disposição final dos resíduos. Por isso, a roteirização da rota auxilia na qualidade de alocação dos veículos coletores e na redução do percurso a ser realizado, já que o aumento do número de coletas a realizar e sua dispersão geográfica causam impacto significativo em custos associados aos sistemas de distribuição (GOIAS, 2005).

#### 2.4. GEOTECNOLOGIAS APLICADA A COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS

As geotecnologias podem ser compreendidas genericamente como técnicas e ferramentas da gestão de informações georreferenciadas, em que os dados são coletados, tratados, processados, armazenados e disponibilizados aos usuários em uma base compilada de informações conhecida como banco de dados espaciais. As informações georreferenciadas são qualquer informação passível de representação em um ambiente geográfico computacional, permitindo sua análise espacial e estatística.

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é uma das ferramentas da geotecnologia, surgiu na década de 1950 e graças ao avanço tecnológico e acesso as tecnologias esta ferramenta

computacional permite representar variáveis reais e geográficas, manipular e armazenar grande quantidade de dados e simular diversos cenários dados referenciados espacialmente sobre a superfície terrestre (MAGUIRE, 1991; RAPER e MAGUIRE, 1992; CHOI, 1993; LOENTZ, 2011), além de capturar, modelar, recuperar, consultar e analisar dados georreferenciados (BURROUGH, 1986; ARONOFF, 1989; TEIXEIRA et al., 1992; CÂMARA, 1995; SANTOS e FERREIRA, 2004) com rapidez e praticidade.

Em ambientes de SIG as informações georreferenciadas de diversas áreas são analisadas agregando elementos da tecnologia, do baco de dados, dos especialistas que verificam a interação, os processamentos e os resultados conforme os procedimentos aplicados para suporte a tomada de decisão em áreas como planejamento urbano e ambiental (TEIXEIRA et al., 1992; DANTAS et al., 1997).

Uma das aplicações dos SIGs está nos transportes, estudos de fluxo e rede, permitindo análises espaciais de distribuição de situações e fenômenos que ocorram em escalas temporais, sociais, econômicas e regionais. Sabendo que os custos operacionais com a coleta de resíduos é parte dos gastos do governo local a otimização de rotas pode gerar grande economia (ALDOSARY e ZAHEER, 1996). Tais rotas combinam conceitos de distância, demanda e capacidade de serviço e são usadas em grande escala e em variadas situações representando dutos, sistemas de distribuição, programação de veículos, comunicação, eletricidade, aplicativos de mapas e outros. De forma geral as redes são entidades formadas por pontos (nós ou vértices) e linhas (arcos ou arestas) (LORENA, 2009; LORENTZ, 2011).

Segundo Pallavicine (2001), as rotas ou caminhos são descritos por uma sequência de arcos distintos que unem dois nós, sem importar direção do fluxo de cada arco. Nesse sentido um caminho é simples se cada arco aparecer apenas uma vez na sequência de arcos. Conforme as características de trânsito local e dinâmica de fluxo é comum que na busca de melhor rota haja percursos que se sobrepõem, ou seja, o veículo coletor passa mais de uma vez no local. Para a otimização da modelagem de redes é necessário determinar o caminho mais curto entre um ponto e outro, e para tanto são usadas ferramentas específicas no SIG.

A definição de rotas para os veículos coletores é também conhecido como roteamento de veículos ou roteirização de veículos, associando a abordagem de transportes a tecnologia do SIG para modelos de rede (LORENTZ, 2011) e tem como objetivo a minimização de frota, de custo operacional, de tempo no transporte, da distância percorrida, da maximização do benefício e do nível de serviço (LEHMANN et al., 2008).

O procedimento busca determinar um ou mais roteiros ou sequências de paradas a serem realizadas por determinados veículos quando necessário visitar locais geograficamente dispersos, pré-determinados, e que requeiram atendimento (CUNHA, 2001). Porém, há três grupos principais de problemas com a roteirização (BODIN et al, 1983):

- Roteirização pura de veículos: apenas os aspectos espaciais ou geográficos são importantes para a definição dos roteiros e das sequências de atendimento desconsiderando as condicionantes temporais.
- Programação de veículos e tripulação: possuem restrições complexas de tempo e restrições operacionais e trabalhistas.
- Combinação de roteirização e programação de veículo: ocorrem quando há restrições no tempo, em relação ao horário de atendimento, e da ordem de execução das tarefas, em que a coleta precede a entrega, como no caso do condicionamento da venda de baterias de automóveis a entrega da bateria antiga.

De acordo com os objetivos da roteirização são acrescentadas restrições que impliquem em quantidade a ser transportada por veículos, tempo de viagem, menor percurso, período para entrega ou coleta e acesso a todos os locais que necessitam. As restrições são aplicadas para melhor representar as diferentes situações que podem ocorrer na execução do trajeto (CUNHA, 2001; MELO e FERREIRA FILHO, 2001; MAPA e LIMA, 2005; BREJON e BELFIORE, 2006; LEHMANN et al, 2008). Para esta pesquisa, basta a análise de roteirização pura de veículos por meio de modelos em rede

Em modelos de rede, as diversas situações de roteirização de rotas são avaliadas em um espaço discreto, em que o número de locais possíveis e o número de caminhos entre os locais são finitos. As entidades formadas por pontos (nós ou vértices) correspondem as intersecções de vias de transporte, e as linhas (arcos ou vértices) correspondem aos caminhos que constituem as vias (LORENA e NARCISO, 2009). Dessa forma, as características de localização da demanda, se sobre os nós ou nos arcos e a capacidade do veículo coletor, são fundamentais e determinantes para definir a melhor rota (LACERDA, 2003).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Sobradinho é a 5ª região administrativa, fundada em 1960. O traçado da cidade é integrado pelas quadras residenciais separadas por quadras com áreas de esporte, escolas, templos religiosos e comércio local. Os primeiros moradores foram as famílias transferidas de acampamento Bananal e Vila Amauri, cuja a área foi inundada quando se formou o Lago Paranoá (GDF, 2018).

Como área de estudo foram selecionadas as quadras mais antigas, apresentadas em fundo azul na Figura 2, que possuem uma área de 9,62km<sup>2</sup> com mais de 45 mil habitantes (IBGE, 2010).

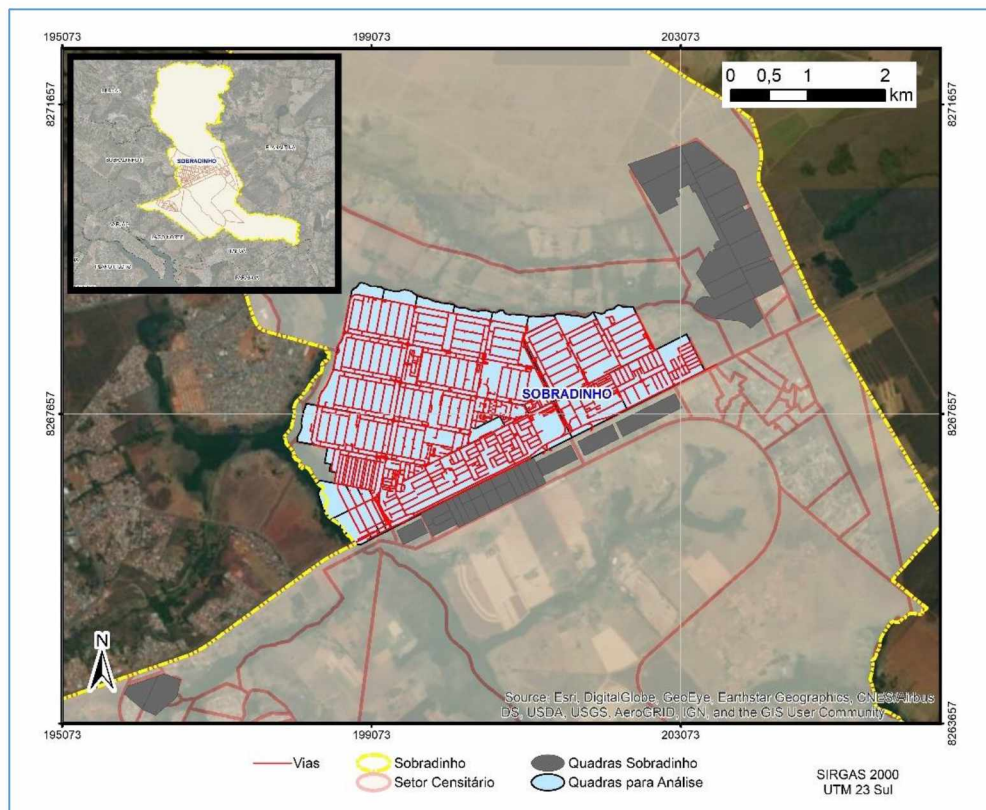


Figura 2 - Quadras selecionadas para estudo de pontos de recipientes de coleta e rota de coleta periódica.

A região administrativa de Sobradinho, segundo dados da Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (PDAD) para 2013-2015, está enquadrada o grupo II de renda média alta com uma densidade urbana de 41,73 habitantes por hectare e uma renda per capita de R\$1.775,79 reais. Dos definidos 201,22 km<sup>2</sup> de território a região administrativa possui 150,39 km<sup>2</sup> de área urbana ocupada. A tipologia domiciliar é predominantemente de casas, com

75,42%, e os outros 23,57% correspondem aos apartamentos e quitinetes (CODEPLAN, 2017). Podemos compreender a estrutura da cidade como não verticalizada.

Sobradinho está contido na bacia hidrográfica do Rio São Bartolomeu, possui duas estações nítidas, a primavera-verão, com período chuvoso, e o outono-inverno, com período seco. A vegetação característica é o Cerrado stricto sensu, uma formação savânica típica do Brasil Central, constituído por árvores de troncos e galhos retorcidos, com casca grossa e folhas grandes (CODEPLAN, 2017).

### 3.2. MÉTODO APLICADO

Foram obtidas as informações das regiões administrativas, conjuntos, setor censitário e as vias urbanas disponibilizadas pela Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação (SEGETH) no geoportal (DISTRITO FEDERAL, 2018). Todas as informações foram usadas em procedimentos de proposição de locais para instalação de recipientes de coleta de resíduos sólidos contemplados pela logística reversa e o estudo de melhor rota para coleta periódica.

As informações foram manipuladas em software SIG livre, o QGIS, usando o sistema de referência SIRGAS 2000 e projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) da zona 23 Sul. Por meio das ferramentas do software é possível investigar sistematicamente as propriedades e relações posicionais de eventos e entidades representadas em uma base de dados georreferenciados, favorecendo a tomada de decisão, sem substituir os trabalhos de campo (ZAIDAN e XAVIER-DA-SILVA, 2004; ALVARENGA, 2015).

#### 3.2.1. Para os locais de instalação de pontos de coleta

A camada vetorial de vias urbanas adquirida no portal SEGETH, em formato *shapefile*, abrange vias coletoras, locais e de trânsito rápido.

Em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), foram selecionadas as vias coletoras, que são as vias destinadas a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar e sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade (COTRAN, 1997). As vias coletoras estão próximas as áreas comerciais, lazer e escolas e dão acesso as vias locais, que são vias com intersecções em nível não semaforizadas, destinadas apenas a acesso local ou áreas restritas. Dessa forma além do atrativo do comércio, escola e lazer os pontos coletores quando instalados estariam no percurso dos moradores favorecendo o descarte adequado dos resíduos da logística reversa de interesse.

Para definir os locais de instalação dos recipientes as vias coletoras foram selecionadas e separadas em nova camada vetorial. O resultado dessa seleção foi processado na etapa de generalização, em que todos os pequenos segmentos das vias foram unidos aos maiores tornando-se uma única via. Na sequência foi aplicada uma ferramenta de quebra de segmento nos nós, que são os locais em que as vias se encontram/cruzam, como os cruzamentos e as rotatórias. Com este procedimento foi possível observar a extensão mínima e máxima dos segmentos das vias. A análise considerou segmentos maiores de 300 m de extensão, para os quais foi gerado um ponto médio.

Os pontos médios dos segmentos tornaram-se os locais propostos para a instalação dos recipientes por se situarem em vias disponíveis aos usuários 24 horas com iluminação que fornece o mínimo de segurança e boa visibilidade para quem o utilizar e próximos aos demais locais supracitados. Foram criados dois outros pontos, um de acesso do veículo coletor ao bairro de Sobradinho - DF e outro ponto para a saída do veículo. Como análise complementar foram gerados polígonos de Voronoi, que auxiliam na compreensão da área de atendimento de cada ponto de coleta.

Os polígonos de Voronoi são basicamente áreas de abrangência que subdividem uma determinada região estabelecendo relações de proximidade entre a sub-região e o ponto gerador de influência (CARNASCIALI et al., 2011; PAULO, 2011). Para obter as sub-regiões foi usado o software QGIS, a ferramenta de vetor polígonos de Voronoi. Esta ferramenta gera as zonas de abrangência do território, que permite o estudo de áreas de influência dos pontos de interesse por suas posições em relação ao conjunto de dados (MOURA, 2009). O resultado são polígonos cujas as distâncias entre o ponto de interesse e as áreas circundantes são as menores possíveis (MOURA, 2003). Neste trabalho os polígonos de Voronoi foram usados apenas para representar as áreas de abrangência dos pontos instalados.

### 3.2.2. Para definição de melhor rota

A coleta de resíduos possui custos elevados e pode ser um empecilho para a utilização do serviço. Por isso a proposta de um trajeto por meio de planejamento estratégico e o uso de ferramentas de SIG tornam o processo de definição de rota mais eficiente e ao mesmo tempo mais sustentável, à medida que reduz os custos operacionais (VARANDA, 2015).

Para este procedimento as vias urbanas foram selecionadas para atribuir informações de velocidade máxima permitida segundo a classificação das vias no código de trânsito. As vias urbanas consideradas são classificadas como de trânsito rápido, coletoras e local, e quando



ausente a sinalização nas vias o código de trânsito brasileiro prevê que as vias de trânsito rápido terão velocidade máxima de 80 km/hora, as vias coletoras de 40 km/hora e as vias locais de 30 km/hora (COTRAN, 1997)

A partir das informações de velocidade e extensão de segmento, que são inseridas e calculadas no software de SIG, foi estimado o tempo de percurso usando a fórmula em que a velocidade é dada pela razão entre o deslocamento (distância) e o intervalo de tempo (tempo) gasto para percorrer o segmento [expressão 1].

$$Velocidade = \frac{Distância}{Tempo} \quad [1]$$

Na sequência, as vias urbanas foram inseridas em procedimento de análise de rotas, em que os pontos de instalação de recipientes para coleta de resíduos são os locais a serem visitados, ditos paradas, e as vias urbanas são as possibilidades de traçado a ser usado para chegar até os locais de parada. Não são consideradas nessa análise, em função da ausência dessas informações, os locais com dispositivos redutores de velocidade, que interferem no desempenho dos veículos coletores dos resíduos (CET, 1992; 2011).

Quando analisada a melhor rota, seja por distância e/ ou tempo, o ideal seria um caminho simples, em que o veículo coletor passasse única vez por cada via. Porém, em função das características de trânsito há casos em que isso não é possível (Figura 3). Por este motivo a metodologia prevê que o veículo possa trafegar mais de uma vez pelo mesmo trajeto, se assim necessitar, usando a roteirização pura de rota, ou seja, são considerados aspectos espaciais e geográficos da distribuição dos pontos com recipientes coletores.

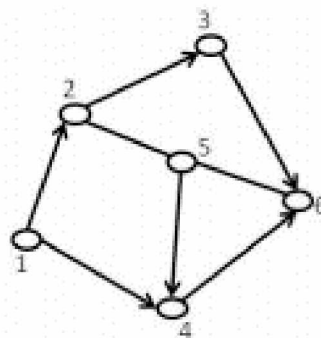


Figura 3 - Representação de arcos e nós e rotas e caminhos possíveis. Adaptado de Pallavine (2001)

Dentro da modelagem de rede, as vias são os arcos, e os pontos de início, fim e cruzamento das vias são os nós. Para a metodologia, foram considerados os parâmetros de menor distância a ser percorrida pelo veículo coletor e menor tempo gasto em trajeto,

estabelecendo o tempo médio de parada de veículo de 5 minutos por ponto de coleta. O tempo de parada envolve a parada de veículo, aproximação do coletor ao recipiente de coleta e acondicionamento dos resíduos no veículo coletor, retorno ao veículo e acionamento de partida.

Cabe ressaltar que não foi configurada uma ordem de visita aos recipientes coletores para seguir, apenas foi configurado para que o veículo coletor visitasse o recipiente uma única vez e tivesse o local de início e fim de coleta fixos. Nesta proposta assumiu-se que um único veículo coletor adaptado ao acondicionamento dos resíduos destinados a logística reversa, como lâmpadas, pilhas e baterias, fosse suficiente para recolher o resíduo de todos pontos de visita.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. PROPOSTA DE PONTOS DE INSTALAÇÃO DE RECIPIENTES COLETORES

Foram obtidos 23 pontos para instalação de recipientes coletores dos resíduos sólidos como pilhas, lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista, e os produtos eletroeletrônicos. Cabe ressaltar que além dos pontos de instalação a metodologia considera um ponto de início de rota e outro de fim.

A distância média entre os recipientes coletores e os possíveis locais de origem dos resíduos, quais sejam as residências, é de 508 m. Segundo Peixoto et al. (2004) e Bringhenti (2004) o ideal é que os pontos de coleta estejam a uma distância menor de 500 m, já que em áreas urbanas os caminhos nem sempre são retos, porém há ruas que estão a uma distância superior ao indicado pelos autores. Neste caso, espera-se compensar esta distância com a alocação do recipiente em vias de acesso às ruas residenciais, próximos ao comércio local, às escolas e às áreas de lazer, de forma que facilitarão o descarte adequado dos resíduos por ser rota de entrada e saída dos moradores locais às suas residências. Dessa forma, duas vezes ao dia, pelo menos, os locais em que estão instalados os recipientes estarão no trajeto dos moradores (Figura 4).

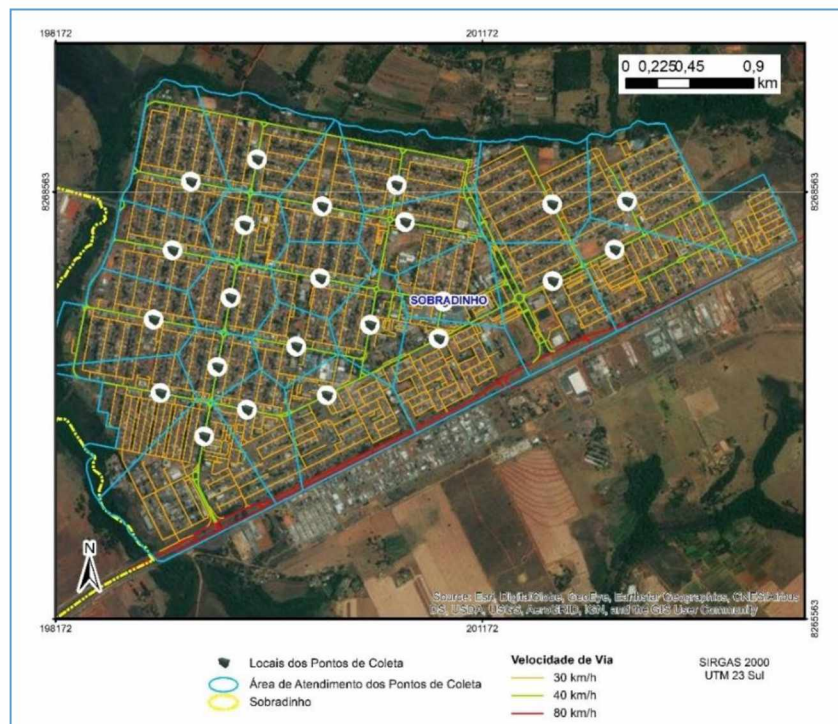


Figura 4 - Área de atendimento do ponto com recipiente de coleta.

As áreas abrangidas pelos recipientes variam de 0,20 km<sup>2</sup> a 0,78 km<sup>2</sup>, uma média de 0,42 km<sup>2</sup>, como mostra a Figura 4. Estas áreas são descritas pelos polígonos de Voronoi e a

simples posição e tamanho dessa representação pode sinalizar a complexidade da realidade local (MOURA, 2009). É um modelo simples de representação da região e tem o intuito apenas de mostrar a distribuição geométrica das áreas de influência dos locais de instalação dos recipientes coletores

Segundo Rocha et al. (2012) a proximidade dos pontos de descarte de lixo aos moradores aumentou a participação da comunidade na destinação adequada dos resíduos em 67,4% dos casos analisados. Contudo, é possível classificar em três grupos a participação social em função das respostas sociais, o primeiro grupo dito cativo, o segundo grupo de participação eventual e o terceiro grupo que não participa. Os pontos com recipientes instalados para coleta demandam esforço do cidadão, que além de separar o resíduo deverá se deslocar ao local do recipiente (ALVARENGA, 2015).

Pode-se considerar como aspectos positivos da instalação de recipientes coletores a facilidade do descarte e a redução de custos com longos percursos para descarte correto, oportunidade de publicidade e eventual patrocínio, enquanto de desvantagens há a necessidade de maior número de recipientes para atender menores áreas e reduzir a distância entre a fonte geradora e o recipiente, estão sujeitos ao vandalismo e exigem manutenção e limpeza e requerem voluntariedade da comunidade (BRINGHENTI, 2004; ALVARENGA, 2015)

A quantidade de pontos para instalação de recipientes coletores está relacionada a densidade populacional e ao poder aquisitivo dos habitantes, em que o aumento destes fatores é proporcional a quantidade de resíduos produzidos (ALVARENGA, 2015). Segundo Campos (2012) a média da geração per capita de resíduos sólidos é uma função da quantidade de resíduos coletados em uma cidade dividida pela população atendida. No Brasil a média per capita de geração de resíduos sólidos corresponde a 359 kg/habitante/ano, sendo que para o Distrito Federal foi observado o maior índice do Centro-Oeste, 2,4 kg/habitante/dia (BRASIL, 2009; CAMPOS, 2012).

Neste contexto, a área abrangida representa 4,78% da área total da região administrativa de Sobradinho, são 9,62 km<sup>2</sup> com 45.403 habitantes (IBGE, 2010), e a média da população atendida pelos recipientes é de 2.063,77 habitantes. Considerando apenas os resíduos sólidos comumente coletados pelo serviço de limpeza urbana, seriam 3,4 ton/habitante/ano. Para a estimativa de resíduos componentes da logística reversa é necessário acompanhamento e registro dos valores observados nos coletores para criar uma base de dados contendo os montantes e período de coleta, isso subsidiará análises futuras.

## 4.2. PROPOSTA DE ROTA PARA COLETA DE RESÍDUOS

### 4.2.1. Melhor rota por menor distância

A rota de menor distância a ser percorrida possui 16,102 km e 142 minutos gastos no trajeto. O acesso do veículo coletor as vias urbanas coletores se dá pelo ponto 1 e a saída pelo ponto 25, como mostra a Figura 5, e o veículo coletor se desloca tanto nas vias coletoras, com velocidade máxima de 40 km/hora, quanto nas vias locais, com velocidade máxima de 30km/hora.

A relevância do percurso de menor distância abraça os conceitos de desenvolvimento sustentável reduzindo o impacto ambiental pela queima de combustível fóssil dos veículos coletores e conseqüentemente os gastos com o abastecimento e manutenção dos veículos, já que quanto maior o percurso maior o consumo de combustível, mais frequente a manutenção dos veículos e maior o impacto ambiental pela emissão de gases resultantes da queima do combustível. Em comparação com a coleta PAP a coleta por entrega voluntária nos pontos com os recipientes instalados, o gasto com combustível é menor, porém exige que as pessoas se desloquem até o local e isso pode reduzir a eficiência no descarte (BRINGHENTI, 2004; ALVARENGA, 2015).



Figura 5 - Proposta de rota de menor distância para coleta resíduos em Sobradinho – DF.



#### 4.2.2. Melhor rota por menor tempo

A definição de rota é importante para evitar danos ambientais, prejuízos no acondicionamento e tratamento dos resíduos, e por isso deve ser planejada com o intuito de reduzir custos operacionais e alocar com qualidade e eficiência os veículos coletores (GOIS, 2005).

A rota de menor tempo possui 141 minutos e extensão total de 16,521 km, sendo que o veículo coletor se desloca predominantemente em vias coletoras numa velocidade de 40 km/hora. A rota está apresentada na Figura 6.



Figura 6 - Proposta de rota de menor tempo para coleta de resíduos em Sobradinho – DF.

#### 4.2.3. Análise comparativa entre as rotas propostas

Os objetivos comuns da roteirização dos veículos é a minimização da frota de veículos, minimização dos custos operacionais, minimização do tempo de transporte, minimização da distância a ser percorrida, maximização do benefício e do nível de serviço (ASSAD, 1988; LEHMANN et al, 2008).

A melhor rota por distância compartilha cerca de 11 km com a melhor rota por tempo, aproximadamente 97% do trajeto, como mostra a Figura 7. Isso pode justificar a proximidade entre a distância das rotas e o tempo gastos nas rotas.



Figura 7 - Comparativo entre as propostas de rotas para coleta de resíduos em Sobradinho – DF.

Conforme Tabela 3, comparativamente, a melhor rota por tempo não apresenta diferença significativa de tempo gasto ou distância percorrida pelo veículo da melhor rota por distância.

Tabela 3 - Informações de tempo e distância por melhor rota.

Melhor rota por:	Quantidade de pontos de coleta com parada	Tempo de parada em cada ponto (minutos)	Tempo de rota (minutos)	Distância de rota (km)
Tempo	23	5	141	16,521
Distância	23	5	142	16,102

Segundo D’Almeida (2000) e Pascoal e Oliveira (2010) o trajeto mais eficiente é aquele em que há menor percurso improdutivo, há menor percurso “morto” e manobras especiais, tais como retorno. Para tanto, é considerado como trajeto improdutivo aquele em que o veículo não realiza coleta e serve apenas ao deslocamento de um ponto a outro, e o trajeto morto é aquele em que o veículo repete o caminho apenas para manobras em respeito à dinâmica de trânsito. Porém, este conceito é mais adequado a coleta de resíduos sólidos domiciliares comuns que a coleta dos resíduos sólidos destinados a logística reversa, já que os da logística reversa são distribuídos descontinuamente na região e tal condição implica que o veículo coletor se desloque de um ponto a outro predominantemente. Já sobre o percurso “morto” são observados alguns trechos tanto na rota de melhor tempo quanto na rota de melhor distância,

contudo, a inexistência desses trechos aumentaria a distância a ser percorrida pelo veículo coletor aumentando também os custos operacionais.

Quanto menor o trajeto a ser realizado pelo veículo coletor menor o impacto ambiental causado por vazamentos de líquidos derivados de processo de degradação do resíduo, emissão de gases poluentes ou vazamentos de líquidos do próprio veículo coletor por problemas locais de operacionalização. Porém o menor tempo destinado a execução da atividade agrega melhora na condição do trabalho à medida que os operadores/agentes coletores estão submetidos ao contato com os materiais por menor período.



## 5. CONCLUSÃO

Foram definidos 23 pontos para instalação de recipientes coletores de resíduos sólidos componentes da logística reversa e foi selecionada a rota de menor distância como rota mais eficiente para trajeto de veículo coletor. Esta rota reduziria a emissão de gases derivados da queima do combustível além de reduzir o custo operacional no consumo de combustível fóssil e nas manutenções de veículo por quilometragem rodada.

Para efetivar o uso dos recipientes coletores é necessária ação de sensibilização da comunidade que pode ser feito por meio da educação ambiental, de forma que seja estimulado o descarte adequado dos resíduos da logística reversa e uso dos recipientes que serão visitados periodicamente pelos veículos coletores, evitando assim impactos à saúde humana e danos ambientais oriundos dos componentes dos resíduos em questão. Com as ações de educação ambiental é possível criar hábitos sustentáveis para uma sociedade mais consciente, informada e comprometida com o meio ambiente.

É necessário realizar análises *in loco* no momento da coleta dos recipientes coletores para verificar o percentual de preenchimento dos recipientes visando otimizar o intervalo de visita aos PEVs, e continuar com as ações de sensibilização da comunidade aceitando que o sucesso dos recipientes coletores é dependente também do tempo de instalação para que a comunidade se habitue ao descarte correto.

A medida que a densidade demográfica de Sobradinho, Brasília – DF aumenta, assim como o aumento do poder aquisitivo, há um aumento proporcional na geração de resíduos e novos locais para instalação de pontos de recipientes de coleta deverão ser estudados.

Neste trabalho não foram consideradas as capacidades dos veículos coletores ou indicação de condicionadores adequados a cada tipo de resíduo componente da logística reversa, sendo necessário estudo mais detalhado e profundo sobre este requisito.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO DO DISTRITO FEDERAL - ADASA. Resolução nº 5 de março de 2017. Dispõe sobre os procedimentos para instalação, operação e manutenção de estações de transbordo de resíduos sólidos do Distrito Federal. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. 2017.
- ALDOSARY, A. S. e ZAHEER, S. A. An application mechanism for a GIS-based maintenance system: the case of Kfupm. **Computational, Environmental and Urban Systems**, n. 6, v. 20, p. 399-412. 1996.
- ALVARENGA, J.C.F 2015. Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos: uma análise da distribuição espacial dos pontos de entrega voluntária de material reciclável em Viçosa/MG. **Revista de Políticas Públicas & Cidades**, Minas Gerais, v.2, n. 1., jan. 2015..
- ANVISA. **Manual de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde**. Brasília, 2006.
- ARONOFF, S. **Geographical information systems: a management perspective**. Ottawa: WDL Publications. 1989. 294 p.
- BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC; USP.1999.
- BODIN, L. D.; GOLDEN, B.; ASSAD, A.; BALL, M. Routing and scheduling of vehicles and crews: the state of the art. **Computers and Operations Research**, vol. 10, n. 2, 1983.
- BRASIL. Decreto nº 7.404 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. 2010.
- BRASIL. Lei Federal 12.305 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. 2010.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). **Diagnóstico do manejo dos resíduos sólidos urbanos – 2009**. Brasília. 2009.
- BREJON, S. R. C.; BELFIORE, P. P. A importância do enfoque sistêmico para problemas de roteirização de veículos. **Revista Pesquisa & Desenvolvimento Engenharia de Produção**, Minas Gerais, n. 5, p. 64-86, jun 2006.
- BURROUGH, P. A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. **Journal of Quaternary Science**, Nova York - EUA, v. 3, n. 1, p. 193 .1986.
- CÂMARA, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos**. 264f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos - SP, 1995.
- CARNASCIALI, A.M.S.; DELAZARI, L.S.; SANTOS, D.R. Determinação de áreas de abrangência de agência bancária pelo diagrama de Voronoi com obstáculos. **Boletim de Ciência Geodésica**, Curitiba, v. 17, n. 1, p. 200-217, abr/jun. 2011.
- CET. **A influência de dispositivos redutores no desempenho do transporte coletivo urbano por ônibus**. 1992. Nota Técnica.

CET. **Especificação Técnica: Implantação, Remoção e Manutenção de Dispositivos Redutores de Velocidade “Lombada”, com a utilização de caminhão equipado com Equipamento Compacto de Aplicação de CAUQ.** 2011.

CHOI, K. **The implementation of an intergrated transportation planning model with GIS and expert systems for interactive transportation planning.** Tese (Doutorado). Illinois - EUA, 1993.

CODEPLAN. **Atlas do Distrito Federal - 2014.** Brasília, 2014.

CODEPLAN. **Densidades urbanas nas regiões administrativas do Distrito Federal.** Brasília, fevereiro .2017.

CODEPLAN. **Distrito Federal: Síntese de Informações Socioeconômicas.** Brasília, 2010.

COSTA, L.F; JUNIOR, M.S.L.; PICOLI, R.L. **Gerenciamento de resíduos sólidos: uma análise sobre a demanda do Setor Habitacional Noroeste, Brasília/DF.** Trabalho apresentado no IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Salvador. 2013.

COTRAN. Lei Federal nº 9.503 de setembro de 1997. Institui o código de trânsito brasileiro. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF.

CUNHA, C. B. Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais. **Revista Transportes** da ANPET Rio de Janeiro - RJ, v. 8, n. 2, p. 51-74.2001.

DANTAS, A. S.; TACO, P. W. G.; BARTOLI, S. P.; YAMASHITA, Y. **Aplicações dos sistemas de informações geográficas em transportes sob o enfoque da análise espacial.** In: Proceedings of The Iv Simpósio Brasileiro De Geoprocessamento. São Paulo, p. 469-477. 1997.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL - GDF. Geoportal da Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação (SEGETH). **Mapa.** Distrito Federal, 2018 em <https://www.geoportal.segeth.df.gov.br/mapa>. Acesso: junho. 2018.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL - GDF. Lei Distrital nº 1.154 de 2008. Dispõe sobre o descarte e a destinação final de lâmpadas fluorescentes, baterias de telefone celular, pilhas que contenham mercúrio metálico e demais artefatos que contenham metais pesados no Distrito Federal. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. 2008.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL - GDF. Lei Distrital nº 5.418 de novembro de 2014. Dispõe sobre a Política Distrital de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. 2014.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL - GDF. Portal Brasil: Cidades Brasileiras – Regiões Administrativas. 2018.

GALVÃO, L. et al. A multiplicatively-weighted Voronoi diagram approach to logistics districting. **Computers and Operations Research.** v. 1, n. 33, p. 93-114, jan. 2006.

GAZZINELLI, M. F.; LOPES, A. P. W.; GAZZINELLI, A. Educação e participação dos atores sociais no desenvolvimento de modelo de gestão do lixo em zona rural em Minas Gerais. **Educação e Sociedade**, Minas Gerais, v. 22, n. 74, p. 225-241. 2001

GOIS, B. C. V. **Roteirização: uma comparação dos métodos de divisão e organização das rotas de coleta dos caminhões compactadores de lixo.** 2005. 61f. Trabalho de Graduação (Tecnologia em Logística) – Faculdade de Tecnologia da Zona Leste – Centro Paula Souza, São Paulo, 2005.

JACOBI, P.R.; BESEN, G.R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011.

LACERDA, M. G. **Análise de uso de SIG no sistema de coleta de resíduos sólidos domiciliares em uma cidade de pequeno porte**. 158p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – ênfase em recursos hídricos e tecnologias ambientais) – Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho (UNESP), Ilha Solteira/SP, 2003.

LEHMANN, L. B.; PIZZOLATO, N. D.; RODRIGUES, G. B. S. **Problemas de roteirização: um estudo de caso do Correio Aéreo Nacional da Força Aérea Brasileira utilizando a metodologia Clarke-Wright**. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2008.

LOBO, D. S. **Dimensionamento e otimização locacional de unidades de educação infantil**. 155 f. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção) - Departamento de Transportes e Logística, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

LORENA, L. A. N.; NARCISO, M. G. ARSIG para o domínio agropecuário. In: Congresso da SBI-AGRO, v. 2, 2000.

LORENTZ, J.F. **Aplicação de recursos de roteirização e redes na coleta e transporte de resíduos de serviços de saúde**. 68f. Dissertação (Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. 2011.

MAGUIRE, D. J. **An overview and definition of GIS**. In: MAGUIRE D. J., GOODCHILD M. F., RHIND, D. W. (eds), **GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS**, Inglaterra, Reino Unido, 1991.

MAPA, S. M. S.; LIMA, R. S. Sistemas de informação geográfica (SIG) como ferramenta suporte a estudos de localização e roteirização. **XII SIMPEP**, - Bauru/SP, novembro de 2005.

MELO, A. C. S.; FERREIRA FILHO, V. J. M. Sistemas de roteirização e programação de veículos. **Revista Pesquisa Operacional**, v. 21, n. 2, jun/dez, p. 223-232. 2001.

MOURA, A.C.M. Aplicação do modelo de polígonos e Voronoi em estudos de áreas de influência de escolas públicas: Estudo de caso em Ouro Preto – MG. **Anais VII Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais – ENABER**. Brasil, São Paulo. Setembro, 2009.

NOVAES, A. G. N. et al. Solving continuous location-districting problems with Voronoi diagrams. **Computers and Operations Research**, n. 36, p. 40-59, 2009.

PALLAVICINE, G.M.C. **Contribuição ao estudo da distribuição física de produtos em áreas urbanas: integração de modelos matemáticos de roteamento com sistemas de informações geográficas (SIG)**. 137f. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília (UnB), Brasília - DF. 2001.

PASCOAL, A.P.; FILHO, P.C.O. Análise de rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares com uso do geoprocessamento. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 131-144. 2010.

PAULO, M.C.M. **Diagramas de Voronoi multiplicativamente ponderados por restrições no terraview**. Trabalho de Graduação, INPE. São José dos Campos, 2011.

RAPER, J.F. and MAGUIRE, D.J. Design Models and Functionality in GIS. **Computers & Geosciences**, v 18, p. 387-394. 1992.

REZENDE, F. et al. Diagramas de Voronoi para a definição de áreas de abrangência de hospitais públicos no Município do Rio de Janeiro. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 2, p. 109-118. 2000.

ROCHA, DC; CERETTA, GF; BOTTON, JS; BARUFFI, L; ZAMBERLAN, JF. Gestão de resíduos sólidos domésticos na zona rural: a realidade do município de Pranchita – PR. **Revista de Administração**, Santa Maria, v. 5, n. 4, p. 699-714, dez. 2012.

SANTOS, L.; FERREIRA, D. L. Sistema de informação geográfica aplicado ao planejamento de trânsito e transportes. **Caminhos de Geografia**, n. 5, v. 12, p. 94-113, jun. 2004.

SEMA. **Tabela de pontos de coleta enviada pela Assessoria de Comunicação**. Brasília, DF. 2017.

SLU. **Construindo um novo modelo de gestão de Resíduos Sólidos do Distrito Federal: Relatório de atividades**. Brasília. 2016

TEIXEIRA, A; CRISTOFOLETTI, A.; MORETTI, E. **Introdução aos sistemas de informação geográfica**. Rio Claro: Editora dos Autores, 1992. 80 p.

VILHENA, A. (Coord.). **Guia da coleta seletiva de lixo**. Brasília: CEMPRE, 2002.

ZAIDAN, T.Y.; XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2004.