

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

MODELO PARA A DETERMINAÇÃO DA AFLUÊNCIA
DOS RESÍDUOS SÓLIDOS AO SISTEMA DE
DRENAGEM URBANA:
Estudo de caso em Belo Horizonte (MG)

Astrid Carolina Bustos Valencia

Belo Horizonte
2016

**MODELO PARA A DETERMINAÇÃO DA AFLUÊNCIA
DOS RESÍDUOS SÓLIDOS AO SISTEMA DE
DRENAGEM URBANA:
Estudo de caso em Belo Horizonte (MG)**

Astrid Carolina Bustos Valencia

Astrid Carolina Bustos Valencia

**MODELO PARA A DETERMINAÇÃO DA AFLUÊNCIA
DOS RESÍDUOS SÓLIDOS AO SISTEMA DE
DRENAGEM URBANA –
Estudo de caso em Belo Horizonte (MG).**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Linha de pesquisa: Avaliação e gerenciamento de impactos e de riscos ambientais.

Orientador: Prof. Márcio Benedito Baptista

Co-orientador: Prof. Raphael Tobias de Vasconcelos Barros

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2016

V152m

Valencia, Astrid Carolina Bustos.

Modelo para a determinação da afluência dos resíduos sólidos ao sistema de drenagem urbana [manuscrito]: estudo de caso em Belo Horizonte (MG) / Astrid Carolina Bustos Valencia.– 2016.

xvi, 111 f., enc. : il.

Orientador: Márcio Benedito Baptista.

Coorientador: Raphael Tobias de Vasconcelos Barros.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Apêndices: f. 108-111.

Bibliografia: f. 103-107.

1. Engenharia sanitária - Teses. 2. Recursos hídricos - Teses. 3. Resíduos sólidos - Teses. 4. Drenagem - Teses. 5. Bacias hidrográficas - Belo Horizonte (MG) - Teses. I. Baptista, Márcio Benedito. II. Barros, Raphael Tobias de Vasconcelos. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 628(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Avenida Antônio Carlos, 6627 - 4º andar - 31270-901 - Belo Horizonte - BRASIL

Telefax: 55 (31) 3409-1882 - posgrad@desa.ufmg.br

<http://www.smarh.eng.ufmg.br>

FOLHA DE APROVAÇÃO

Modelo para determinação da afluência dos resíduos sólidos ao sistema de drenagem urbana: Estudo de caso em Belo Horizonte/MG

ASTRID CAROLINA BUSTOS VALENCIA

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:


Prof. MÁRCIO BENEDITO BAPTISTA - Orientador


Prof. RAPHAEL TOBIAS DE VASCONCELOS BARROS


Profa PRISCILLA MACEDO MOURA


Prof. PEDRO GASPARINI BARBOSA HELLER

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Versão Final aprovada por

Prof. Nilo de Oliveira Nascimento
Coordenador



Prof. Márcio Benedito Baptista
Orientador

Belo Horizonte, 07 de julho de 2016.

DEDICATORIA

A Deus, a Luz Miriam e Jesus Antônio, meus amados pais e a meus irmãos, torcedores fieis.

*“Muitos são os planos no coração do homem,
mas o que prevalece é o propósito do senhor”.*

Provérbios 19,21.

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a Deus, quem me dá toda a coragem para continuar dia a dia nos desafios da vida, enchendo-me de força e perseverança.

Também agradeço a meus amados pais e meus irmãos que sempre estiveram torcendo por meu sucesso acadêmico, fazendo-me sentir acompanhada mesmo na distância.

Ao professor Marcio Benedito Baptista, quem me deu seu apoio desde o início neste sonho para vir a ingressar no mestrado em um país estrangeiro, por seus ensinamentos, suas orientações e paciência, elementos que foram grandes incentivos no desenvolvimento desta pesquisa, a minha mais alta estima.

Ao professor Dr. Raphael Tobias Barros pelo apoio e seus valiosos conselhos nos momentos que precisei, sua paciência e motivação ao longo do desenvolvimento desta pesquisa. Obrigada por todos seus ensinamentos.

Ao meu amado Anthony, por seu apoio incondicional e paciência compreendendo a importância deste trabalho.

A meu grande amigo e irmão Rafles da Mata pelas incansáveis leituras e contribuições ao longo da construção deste trabalho.

Aos colegas da UFMG e amigos que contribuíram de alguma forma com o desenvolvimento desta pesquisa, em especial, Thiago, Edwin Andrés, Maximiliano, Glaucia, Acácia, Hildelano, Sarah, Kennya, Luisa, Felipe, Cesar, Lorena e Aparecida.

À Prefeitura de Belo Horizonte em especial a SLU e SUDECAP pela liberação das informações para a pesquisa, através a funcionários Maria Letícia Moreira, Daniela Wilken e a os engenheiros Ronaldo Magalhães e Marcos Ferreira.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por seu apoio institucional na realização do trabalho, a todos os professores, funcionários do departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos e ao Programa de Pós-Graduação SMARH pela contribuição para meu aperfeiçoamento acadêmico.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	X
RESUMO	XV
ABSTRACT	XVI
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA	4
3 OBJETIVOS E ETAPAS METODOLÓGICAS.....	6
3.1 OBJETIVO GERAL	6
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3.3 ETAPAS METODOLÓGICAS.....	6
4 REVISÃO DA LITERATURA.....	8
4.1 RESÍDUOS SÓLIDOS	8
4.1.1 Problemática	8
4.1.2 Contexto normativo	10
4.1.3 Definições e classificações	11
4.1.4 Gestão e gerenciamento	15
4.1.5 População e resíduos sólidos	16
4.2 DRENAGEM URBANA.....	22
4.2.1 Sistemas clássicos de drenagem.....	24
4.2.1.1 Microdrenagem.....	24
4.2.1.2 Macrodrenagem	29
4.2.2 Técnicas compensatórias.....	30
4.3 DRENAGEM URBANA E RESÍDUOS SÓLIDOS	31
4.4 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE	44
4.5 A DRENAGEM NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE	46
4.6 GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM BELO HORIZONTE.....	48

4.6.1	<i>Serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos (RSU)</i>	49
4.6.2	<i>Serviço de limpeza urbana</i>	52
4.6.3	<i>Destinação e tratamento dos resíduos sólidos de Belo Horizonte</i>	53
5	PROPOSIÇÃO DO MODELO	56
5.1	<i>CONSIDERAÇÕES INICIAIS E DESCRIÇÃO DO MODELO</i>	56
5.2	<i>ANÁLISE DO SERVIÇO DE COLETA</i>	59
5.2.1	<i>Etapa1: Entrada de dados</i>	59
5.2.1.1	Área da bacia (A_b)	59
5.2.1.2	População residente (P_{Rb})	59
5.2.1.3	Atendimento do Serviço de coleta domiciliar (At_c)	60
5.2.1.4	Coeficiente de geração de RSU (CG_{RSU}).....	60
5.2.2	<i>Etapa 2: Quantificação dos resíduos gerados</i>	61
5.2.2.1	Determinação dos RSU totais gerados na bacia RSU_{Tgb}	61
5.2.2.2	Apuração dos resíduos sólidos urbanos totais (RSU_{aTgb})	61
5.2.2.3	Abstração dos resíduos de varrição (RSU_{Asv})	62
5.2.2.4	Resíduos gerados pela população com e sem atendimento de coleta domiciliar (RSU_{svpa} , RSU_{svpna}).....	63
5.2.3	<i>Etapa 3: Avaliação dos impactos potenciais na drenagem</i>	64
5.3	<i>ANÁLISE DO SERVIÇO DE VARRIÇÃO</i>	65
5.3.1	<i>Etapa 1: Entrada de dados</i>	65
5.3.1.1	Ruas pavimentadas na área da bacia (R_{Ab}).....	66
5.3.1.2	Verificação das bocas de lobo presentes na bacia	66
5.3.1.3	Nível de atendimento do serviço de varrição (A_{tv}).....	66
5.3.1.4	Coeficiente de geração de resíduos de varrição (C_v).....	67
5.3.2	<i>Etapa 2: Quantificação dos resíduos de varrição</i>	67
5.3.3	<i>Etapa 3: Avaliação dos impactos potenciais na drenagem</i>	70
5.3.3.1	Contribuição dos resíduos de coleta (C_{RC})	70
5.3.3.2	Quantificação de RS aportados por boca de lobo localizadas nas ruas com varrição ($RSBL_{vd}$).....	70
5.3.3.3	Quantificação de RS aportados por boca de lobo localizadas nas ruas sem varrição ($RSBL_{sv}$).....	71
5.4	<i>CONSIDERAÇÕES GERAIS</i>	71
6	APLICAÇÃO DO MODELO	72

6.1	<i>ANÁLISE DE DADOS DE SERVIÇO DE COLETA</i>	72
6.1.1	<i>Etapa 1: Dados de entrada</i>	72
6.1.1.1	Área da bacia (A_b)	72
6.1.1.2	População residente (P_{Rb})	73
6.1.1.3	Verificação do atendimento do serviço de coleta domiciliar	75
6.1.1.4	Coeficiente de geração de RSU (CG_{RSU}).....	76
6.1.2	<i>Etapa 2: Quantificação dos RSU totais</i>	77
6.1.3	<i>Etapa 3: Avaliação dos impactos potenciais na drenagem</i>	78
6.2	<i>ANÁLISE DE DADOS DE SERVIÇO DE VARRIÇÃO</i>	80
6.2.1	<i>Etapa 1: Dados de entrada</i>	80
6.2.2	<i>Etapa 2: Quantificação dos resíduos de varrição</i>	83
6.2.3	<i>Etapa 3: Avaliação dos impactos potenciais na drenagem</i>	84
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	87
7.1	<i>GESTÃO DE SERVIÇOS DE LIMPEZA E GESTÃO DA DRENAGEM URBANA</i>	87
7.2	<i>VARIÁVEIS EXPLORADAS NO MODELO</i>	88
7.3	<i>RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MODELO</i>	88
7.4	<i>ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO</i>	95
8	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	100
	REFERÊNCIAS	103
	APÊNDICE I.....	108

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura Metodológica.....	7
Figura 2- Seção típica de uma via	25
Figura 3- Seção de escoamento de uma sarjeta	26
Figura 4 - Tipos de bocas de lobo.....	26
Figura 5- Boca de lobo simples (Vista lateral)	27
Figura 6- Sistema de microdrenagem	28
Figura 7- Bacia de retenção na bacia Maurice Audin – França.....	31
Figura 8- Composição gravimétrica média das pesquisas nacionais.....	39
Figura 9- Regionais administrativas de Belo Horizonte.....	45
Figura 10- Atendimento de coleta em Belo Horizonte.....	50
Figura 11- Estrutura de modelo proposto.	58
Figura 12- Área de estudo	73
Figura 13- Delimitação bairros na área de estudo	74
Figura 14- Atendimento de coleta domiciliar.....	76
Figura 15- RSU_{Tgb} gerados pelo modelo e relatório da SLU	78
Figura 16- Atendimento do serviço de varrição ano 2012	82
Figura 17- Resíduo aportado às bocas de lobo	86
Figura 18 – Resíduos de coleta simulados e dados do relatório da SLU.....	90
Figura 19- Massa de resíduos aportados por boca de lobo.....	93
Figura 20- Resultado da RSU_{Tgb} variando a população	95
Figura 21- Resultado da RSU_{mad} variando a população	96
Figura 22- RSU_{mad} gerado na simulação com variação do At_c	96
Figura 23- Resíduos de varrição simulações ano 2010	97
Figura 24- Resíduos de varrição simulações ano 2011	97
Figura 25- Resíduos de varrição simulações ano 2012	98
Figura 26- Quantidade de RS aportados em cada boca de lobo nas ruas varridas	99
Figura 27- Quantidade de RS aportados por boca de lobo nas ruas sem varrição	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Síntese dos critérios de classificação dos resíduos sólidos	13
Tabela 2- Geração de resíduos em Kathmandu (Nepal).....	18
Tabela 3- Geração RSU Brasil por regiões ano 2014.....	20
Tabela 4- Carga de resíduos no estudo realizado em Corburg (Austrália).....	32
Tabela 5- Estudo e bacias urbanas na Cidade do Cabo (África do sul).....	33
Tabela 6- Síntese das pesquisas sobre resíduos sólidos na drenagem	40
Tabela 7- População residente da área de estudo	75
Tabela 8- Atendimento de serviço de coleta domiciliar	76
Tabela 9- Resíduos de coleta gerados pelo modelo.....	77
Tabela 10- Segregação dos dados dos relatórios da SLU.....	78
Tabela 11- Resíduos sólidos aportados à macrodrenagem simulados com o modelo proposto	79
Tabela 12- Volumes de Resíduos sólidos retirados na bacia de detenção Engenho Nogueira	79
Tabela 13- Arruamento na área de estudo e presença de drenagem.....	81
Tabela 14- Detalhamento do atendimento da varrição na área de estudo	81
Tabela 15- Determinação do coeficiente geração de resíduos de varrição (C_v).....	83
Tabela 16- Resíduos de varrição gerados na área de estudo	83
Tabela 17- Verificação dos resíduos de varrição segundo dados dos relatórios da SLU84	
Tabela 18- Resíduos potenciais aportados a microdrenagem na área de estudo	85
Tabela 19- Resultado da geração de resíduos de coleta para diferentes coeficientes, considerando uma população residente de 20.280 pessoas	89
Tabela 20- Simulações dos resíduos de varrição a partir do C_{vm}	92
Tabela 21- Resíduos sólidos potenciais a atingir a microdrenagem por unidade de área	94

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A_b	Área da bacia
A_{Bb}	Área do bairro dentro a bacia de estudo
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABRH	Associação Brasileira de Recursos Hídricos
ACLU	Agentes Comunitários de Limpeza Urbana
AP	Área de Ponderação
At_c	Atendimento de coleta domiciliar
At_v	Atendimento de varrição
BL_v	Bocas de lobo localizadas nas áreas com varrição
C_E	Coeficiente de abstração de entulho
CG_{RSU}	Coeficiente de geração de RSU
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas para Meio Ambiente e Desenvolvimento
C_{RSS}	Coeficiente de abstração de resíduos de saúde
C_{RC}	Contribuição dos resíduos de coleta
CTRS	Central de Tratamento de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte
C_v	Coeficiente de geração de resíduos de varrição

DRENURBS	Programa de Recuperação Ambiental e Saneamento dos Fundos de Vale e dos Córregos em Leito Natural de Belo Horizonte
<i>d</i>	Densidade
<i>Dd_B</i>	Densidade demográfica para a área do bairro presente na bacia
E	Entulho total coletado na cidade (kg/ano)
EPS	Poliestireno Expandido
<i>f</i>	Frequência de varrição
GERLU	Gerências Regionais de Limpeza Urbana
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
IQVU	Índice de Qualidade de Vida Urbana
LEV	Locais de Entrega Voluntaria
LID	<i>Low Impact Development</i>
<i>m</i>	Massa
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONG	Organizações Não Governamentais
ONU	Organização das Nações Unidas
OPAS	Organização Panamericana da saúde
PDD	Plano Diretor de Drenagem
PET	Polietileno Tereftalato
PMBH	Prefeitura Municipal De Belo Horizonte

PMPV	Papel, Metal, Plástico e Vidro
PMS	Plano Municipal de Saneamento
PNRS	Política Nacional de Resíduos sólidos
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
P _{Ra}	População Residente atendida pela coleta domiciliar na área da bacia
P _{Rb}	População total residente na bacia estudada
P _{RBb}	População residente na área de cada bairro inserida na bacia estudada
R _{Ab}	Extensão total de ruas pavimentadas na área da bacia
RCC	Resíduos de Construção Civil
RDO	Resíduos Sólidos Domiciliares
RPO	Resíduos de Poda
RPU	Resíduos Sólidos Públicos
RS	Resíduos Sólidos
RSBL _{sv}	Resíduos sólidos potenciais a ser aportados nas bocas de lobo gerados nas áreas sem varrição
RSBL _{vd}	Resíduos sólidos potenciais a ser aportados nas bocas de lobo gerados
RS _{fv}	Resíduos sólidos efetivamente coletados pelo serviço de varrição
RSp _{sv}	Resíduos sólidos potenciais gerados nas ruas sem varrição nas áreas varridas com presença de drenagem
RSp _v	Resíduos sólidos potenciais que impactam a microdrenagem em área com atendimento de varrição

RSS	Resíduos sólidos de saúde
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RSU _{Asv}	Resíduos sólidos urbanos sem a massa coletada da varrição
RSU _{aTgb}	Resíduos sólidos urbanos apurados totais gerados na bacia
RSU _{mad}	Resíduos sólidos urbanos depositados na macrodrenagem
RSU _{svpa}	RSU sem varrição gerados pela população com atendimento de coleta domiciliar
RSU _{svpna}	RSU sem varrição gerados pela população não atendida pelo serviço de coleta domiciliar
RSU _{Tg}	Resíduos sólidos urbanos totais gerados na cidade
RSU _{Tgb}	Resíduos sólidos urbanos totais gerados na bacia
RS _{Tv}	Resíduos sólidos totais de varrição
RS _{vd}	Resíduos sólidos gerados nas ruas varridas com drenagem
RS _{vsd}	Resíduos sólidos gerados nas ruas varridas sem drenagem
R _v	Ruas pavimentadas varridas
R _{vd}	Ruas varridas com drenagem
R _{vsd}	Ruas varridas sem drenagem
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SLU	Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte
SMDU	Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano

SMOBI	Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura
SMSU	Secretaria Municipal de Serviços Urbanos
SUDECAP	Superintendência de Desenvolvimento da Capital
UE	União Europeia
UFRGS	Universidade Federal de Rio Grande do Sul
URPV	Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes
VRSU _{mad}	Volume de resíduos sólidos depositados na macrodrenagem

RESUMO

Os aglomerados urbanos são grandes geradores de resíduos sólidos, que refletem as condições sanitárias e funcionais das cidades, implicando na necessidade de esforços e de recursos financeiros significativos para sua adequada gestão. A deficiência no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos pode impactar negativamente as estruturas hidráulicas de condução de águas pluviais, o que frequentemente acarreta uma redução da capacidade de vazão das estruturas. A presente pesquisa teve como objetivo propor um modelo para estimar a quantidade de resíduos sólidos que afluem ao sistema de drenagem pluvial em bacias hidrográficas inseridas em áreas urbanas. O modelo desenvolvido baseou-se nas metodologias de predição que levam em conta as características regionais e locais, incluindo área da bacia, densidade demográfica, o fator de geração de resíduos sólidos entre outros aspectos. Ele estrutura-se em duas análises, serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliares e ao serviço de varrição de ruas presentes na área de estudo, que correspondeu à bacia elementar Engenho Nogueira localizada na cidade de Belo Horizonte/MG. A análise dos serviços de limpeza foi conformada por três etapas, denominadas consecutivamente, entrada de dados (etapa1), quantificação dos resíduos gerados na área de estudo (etapa 2) e avaliação dos impactos potenciais na drenagem (etapa 3). O modelo proposto demonstrou ser de fácil utilização, primeiramente em função das variáveis requeridas como dados de entrada, também, pela simplicidade de aplicação, que independe da utilização de *softwares* sofisticados, podendo ser aplicada com auxílio de uma planilha eletrônica. A aplicação do modelo em termos da avaliação da geração de resíduos de coleta mostrou-se satisfatória, demonstrando um comportamento que acompanha com proximidade os dados reais. Em relação à varrição, os resultados alcançados mostraram um bom ajuste em comparação aos dados de quantificação dos resíduos totais de varrição gerados na área de estudo de acordo as informações oficiais. Considerando que o modelo não incluiu dados relativos à precipitação, declividade das ruas e a dinâmica de transporte dos resíduos, os resultados alcançados mediante informações secundárias mostraram-se favoráveis à predição dos resíduos sólidos aportados às estruturas de drenagem, em áreas sem atendimento do serviço de coleta e de varrição.

Palavras Chave: Geração de resíduos sólidos, bacia urbanizada, drenagem pluvial.

ABSTRACT

The urban areas are large generators of solid waste, which reflect the health and functional conditions of the cities, implying the need for significant efforts and financial resources for its proper management. Shortcomings in the management of municipal solid waste can negatively impact the hydraulic structures rainwater driving, which often entails a reduction in the structures flow capacity. This research aimed to propose a model to estimate the amount of solid waste that flock to the storm water drainage system in river basins inserted in urban areas. The model was based on the prediction methodologies that take into account regional and local characteristics, including catchment area, population density, the factor of generation of solid waste among other things. It is structured in two analyzes, collection of solid waste services and the sweeping service gifts streets in the study area, which corresponded to elementary basin Engenho Nogueira located in Belo Horizonte / MG. The analysis of cleaning services was made up of three stages, called consecutively input (step 1), quantification of waste generated in the study area (step 2) and evaluation of potential impacts on drainage (step 3). The proposed model has proven to be easy to use, primarily due to the variables required as input data, also, by the application of simplicity, which is independent of the use of sophisticated software and can be applied with the aid of a spreadsheet. The application of the model in terms of the evaluation of the generation of waste collection was satisfactory, demonstrating a behavior that comes close to the actual data. Regarding the sweeping, the results obtained showed a good fit compared to data quantification of the total waste generated in the sweeping study area according to official information. Whereas the model did not include data on precipitation, road slope and waste transport dynamics, the results achieved by secondary information were favorable to the prediction of solid waste contributed to drainage structures, service areas without service of collection and sweeping.

Keywords: prediction of solid waste, urban basin, storm water drainage.

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno do crescimento das cidades está vinculado ao aumento da população urbana, que na busca de melhores condições de vida chegam a elas, devido à presença de indústrias e serviços, por conseguinte com maior demanda de mão de obra, acarretando em maiores oportunidades de emprego e qualidade de vida.

Nos anos 1950, cerca de 70% das pessoas viviam em áreas rurais e 30% em cidades; já para o ano 2014, o aumento da população mundial residente nas cidades chegou a 54% e espera-se que o número continue aumentando (ONU, 2014).

De acordo com a ONU (2014), o fenômeno do crescimento das cidades e sua população residente é ainda mais acentuado nos países de América Latina e Caribe, onde a média anual de pessoas que vivem nas cidades para o ano 2014 correspondeu a 80%. No caso específico do Brasil, o país alcançou a marca de 85% de população vivendo nas cidades, fato que gera uma contínua pressão na capacidade dos estados para o fornecimento de serviços de saneamento básico.

Nessa sequência, nos países em desenvolvimento, a cobertura dos serviços como a limpeza urbana, a drenagem pluvial e o abastecimento de água dificilmente alcançam a meta de cobertura de 100%, fato originado por diversas razões como o tempo empregado nos processos de planejamento, na execução das obras e déficit orçamentário.

No tocante a cobertura do serviço de limpeza urbana no Brasil, para o ano 2014 a percentagem total de coleta de resíduos sólidos no país atendeu a 90,7% da população, o que significou que um pouco mais de 7 milhões de toneladas de resíduos sólidos; nesse ano, não foram recolhidas e possivelmente tiveram uma destinação em locais impróprios (ABRELPE, 2015).

A disposição incorreta dos resíduos sólidos é associada a diferentes fatores como o uso e ocupação do solo, fatores socioeconômicos, técnicos, culturais entre outros, podendo gerar impactos negativos nas condições sanitárias e no funcionamento geral das cidades, como por exemplo nas estruturas hidráulicas de condução de águas pluviais, em especial nos emboques de canais e galerias onde os resíduos se depositam após serem

arrastados pela água, vento e/ou gravidade, acarretando uma redução da capacidade de vazão e prejudicando seu funcionamento nos eventos de precipitação.

É comum encontrar dentre os locais com frequente disposição inadequada de resíduos, terrenos baldios, terrenos próximos aos cursos de água e suas calhas, reservatórios de retenção e detenção de cheias, comprometendo os volumes de armazenamento destas estruturas, o desempenho global dos sistemas de drenagem urbana, a manutenção da infraestrutura e os custos associados a estes serviços.

Compreender a relação entre o funcionamento eficiente do sistema de drenagem pluvial e a limpeza urbana contribui ao reconhecimento da necessidade de contemplar o planejamento destas atividades de forma conjunta. Neste sentido, a compreensão da dinâmica da produção, da disposição e do transporte de resíduos sólidos dentro de uma bacia hidrográfica urbana pode constituir um fator importante na tomada de decisões, no que diz respeito à gestão dos recursos aplicados diretamente nos serviços de limpeza urbana e na drenagem pluvial.

Assim, o presente trabalho buscou atender esta necessidade por meio da proposição de um modelo para a quantificação dos resíduos sólidos que afluem ao sistema de drenagem pluvial urbano, levando em consideração a dinâmica do fluxo dos resíduos sólidos em bacias hidrográficas urbanizadas.

Na proposta do modelo foram inseridas etapas de análises para a quantificação dos resíduos sólidos, de acordo com o estabelecimento das variáveis que influenciam a presença de resíduos sólidos na drenagem pluvial, destacando entre estas o uso e ocupação de solo, população residente, cobertura do serviço de limpeza urbana e drenagem pluvial.

Assim, o presente trabalho é apresentado em sete capítulos: o Capítulo 1 contempla esta introdução, o Capítulo 2 apresenta as justificativas e o contexto da pesquisa, no Capítulo 3 são apresentados os objetivos e as etapas metodológicas. A revisão da literatura é apresentada no Capítulo 4, destacando uma visão geral a respeito dos resíduos sólidos, da drenagem pluvial urbana, a relação da influência da limpeza urbana com a presença dos resíduos sólidos ao sistema de drenagem pluvial e pesquisas que trataram o tema.

O Capítulo 5, intitulado “desenvolvimento do modelo”, compreende a fundamentação metodológica do modelo proposto, as variáveis analisadas, e a aplicação do modelo a um estudo de caso. No Capítulo 6 são apresentados os resultados e discussões geradas após aplicação do modelo. Por fim, no Capítulo 7 são apresentadas as conclusões e recomendações.

2 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

O aumento das manchas de inundações nas cidades, provocadas pela deficiência no funcionamento das estruturas de drenagem urbana, é cada vez mais corriqueiro. Dentre as causas que contribuem para a ocorrência deste fenômeno se encontra o aporte de resíduos sólidos transportados pela água até os equipamentos de drenagem, contribuindo desse modo para a ocorrência de impactos que comprometem o funcionamento das estruturas, resultando em alagamentos nas épocas de chuva.

Neste sentido, Aguiar e Baptista (2011) afirmam que, dentre os impactos ocasionados pelos resíduos sólidos nos equipamentos de drenagem pluvial urbano, encontra-se a deterioração do revestimento das estruturas, ocasionado pelo atrito de materiais sobre a superfície, o acúmulo de resíduos e, por conseguinte, redução de eficiência ocasionada pela diminuição da capacidade da vazão transportada. Também resulta em poluição ambiental nos recursos hídricos e aumento de condições para o aparecimento de vetores transmissores de doenças (ARMITAGE, 2007; SALLES *et al.*, 2012).

Armitage (2007), Neves e Tucci (2011) e Salles *et al.* (2012) verificaram que a maior percentagem de resíduos sólidos encontrados nos sistemas de drenagem urbano corresponde àqueles que não se poderia diretamente relacionar exclusivamente à origem natural ou antrópica, como a areia, pedras e sedimentos. Em segundo lugar os autores encontraram aqueles resíduos de origem antrópica como plásticos, papéis, metais e vidros entre outros, confirmando o impacto exercido pela inadequada disposição destes elementos.

Embora exista um vasto universo de pesquisas sobre os resíduos sólidos e também sobre os sistemas de drenagem pluviais urbanos, verifica-se que estes temas são em sua maioria tratados de maneira isolada, o que evidencia uma baixa produção em nível mundial e local de pesquisas que abordam estas duas temáticas de forma conjunta, e ainda em menor quantidade daqueles estudos que correlacionam os impactos no sistema de drenagem e a limpeza urbana, assim como proposições de metodologias para quantificação de resíduos sólidos que chegam até os sistemas de drenagem.

No caso específico do Brasil, as pesquisas encontradas foram realizadas em cidades na região Sul e Sudeste do país não muito próximas da cidade de Belo Horizonte, entre elas as pesquisas na cidade de Santa Maria e Porto Alegre (no estado de Rio Grande do Sul), Florianópolis em Santa Catarina e Sorocaba no estado de São Paulo. Nestas pesquisas foram tomadas em conta as particularidades das áreas de estudo e não foram identificadas pesquisas sobre o tema que tratassem especificamente o caso da capital do estado Minas Gerais.

Em Belo Horizonte, de acordo com informações oficiais emitidas pela Superintendência de Limpeza Urbana (SLU), órgão encarregado do sistema da limpeza da cidade, o problema do acúmulo de resíduos sólidos na drenagem, especificamente nas bocas de lobo, é crescente. De acordo com o órgão, no segundo semestre do ano 2015, a remoção realizada diretamente sobre a caixa de captação de águas destes equipamentos chegou a 20 toneladas diárias, requerendo a limpeza das bocas de lobo instaladas na cidade com uma periodicidade de 6 vezes ao ano para cada equipamento, problema que, segundo a SLU, pode ser atribuído a falta de consciência da população no que tange à disposição dos resíduos (JORNAL METRO, 2015).

Em virtude dos fatos mencionados, o modelo proposto nesta pesquisa pode ser uma ferramenta de auxílio à decisão nos processos de gestão dos recursos empregados na gestão e gerenciamento da limpeza urbana e da drenagem urbana.

3 OBJETIVOS E ETAPAS METODOLÓGICAS

3.1 *Objetivo geral*

O objetivo geral da pesquisa é propor um modelo para a estimar a quantidade de resíduos sólidos que afluem ao sistema de drenagem pluvial em bacias inseridas em áreas urbanas.

3.2 *Objetivos específicos*

- Identificar e analisar a relação entre a gestão do serviço de limpeza urbana, a gestão da drenagem e a presença de resíduos sólidos no sistema de drenagem pluvial.
- Identificar as variáveis intervenientes, sua importância e grau de contribuição na produção de resíduos sólidos em bacias hidrográficas urbanas.
- Aplicar o modelo proposto a um estudo de caso na bacia do córrego Engenho Nogueira, localizada na cidade de Belo Horizonte (MG) com vistas a sua validação.

3.3 *Etapas metodológicas*

A metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa foi dividida em quatro etapas, estas foram estabelecidas de forma a possibilitar o atendimento do objetivo geral e dos objetivos específicos. As etapas metodológicas são apresentadas no fluxograma da Figura 1.

Na primeira etapa, procurou-se conhecer a abordagem teórica e normativa, da gestão dos resíduos sólidos e da drenagem pluvial em ambientes urbanos por meio do levantamento bibliográfico de estudos no âmbito nacional e internacional com escopo e abordagem similares aos adotados nesta pesquisa, que permitiram aprofundar na ocorrência do fenômeno.

Na revisão de literatura, também foi possível identificar os aspectos ou variáveis contribuintes na presença dos resíduos sólidos (RS) em sistemas de drenagem pluvial urbanos, permitindo a definição daquelas variáveis a serem efetivamente exploradas para a estruturação do modelo à luz das condições específicas da cidade.

Na Etapa 2 realizou-se uma análise das variáveis identificadas na revisão de literatura e foram apontadas suas tipologias e influência na geração de RS. Em seguida, foi feita a correlação de como a geração de RS pode comprometer o sistema de drenagem urbana de acordo as características próprias da área de estudo.

A terceira etapa corresponde ao estabelecimento da proposta de um modelo para a quantificação da afluência dos resíduos sólidos ao sistema de drenagem pluvial urbano. Para isso, foram definidos, com subsidio na revisão da literatura, os passos e o equacionamento de análise para cada variável estabelecida, fixando os processos de quantificação utilizados no modelo.

Após executadas as etapas supracitadas, na Etapa 4 procedeu-se à aplicação da metodologia proposta através de um estudo de caso. Os resultados da aplicação do modelo foram comparados com os dados reais da área de estudo num processo de validação, no intuito de aferir a proposta, definir ajustes e limites de aplicação e delinear recomendações para trabalhos futuros que permitam o seu aprimoramento.

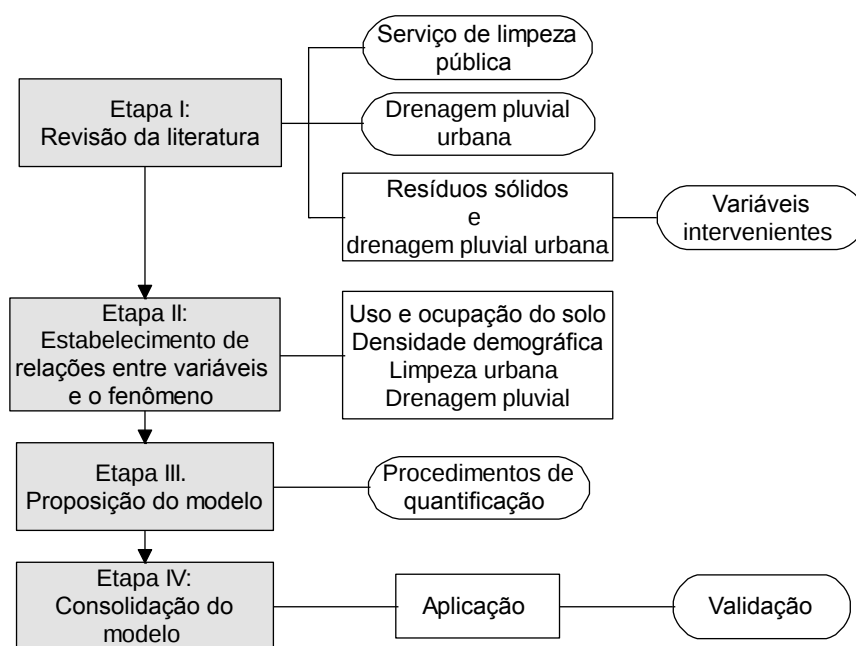


Figura 1- Estrutura Metodológica

A aplicação do estudo de caso refere-se à bacia do córrego Engenho Nogueira, inserida no perímetro urbano do município de Belo Horizonte (MG). Esta bacia corresponde a uma das unidades de planejamento estabelecidas no Plano Diretor de Drenagem (PDD) da cidade, no quadro da política de saneamento do município.

4 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão apresentadas as informações obtidas na revisão da literatura com base nos temas relacionados com a geração de resíduos sólidos, drenagem pluvial urbano e estudos que associam estes dois temas.

4.1 *Resíduos sólidos*

Conhecer a dinâmica da geração, transporte, a tipicidade de resíduos e sua gestão são fatores de extrema importância para compreender a problemática associada a estes, dessa forma facilitando a tomada de decisões na proposição de soluções.

4.1.1 **Problemática**

O processo da evolução humana está associado a mudanças no comportamento da população que podem ser vinculadas ao meio ambiente, no desenvolvimento de técnicas, hábitos de higiene, alimentação, entre outros fatores, que trazem consigo alterações nos sistemas urbanos associados ao fornecimento de produtos orientados a suprir as crescentes necessidades voltadas para otimização de tempo e na qualidade de vida na sociedade moderna.

Nesse sentido, as cidades são objeto de recepção de grandes massas populacionais, devido a migrações provenientes do campo, de outras cidades ou municípios menores, na busca do imaginário da qualidade de vida urbana, onde possivelmente se terá maior acesso à educação, emprego, serviços de saúde e serviços em geral.

Os aglomerados urbanos são grandes geradores de resíduos sólidos produzidos pelo consumo de insumos da população, influenciando as condições sanitárias e funcionais das cidades e implicando na necessidade de esforços e de recursos financeiros significativos para sua adequada disposição.

Referente à qualidade do manejo e disposição dos resíduos sólidos urbanos (RSU) esta é bastante desigual nas cidades brasileiras, observando-se, frequentemente, inadequações operacionais, como reflexo de fatores educacionais, da cobertura do serviço de limpeza urbana, de condicionantes político-administrativos, de aspectos socioeconômicos, demográficos, geográficos e de ocupação do solo.

As inadequações da disposição dos RSU apresentam impactos importantes nas condições sanitárias e no funcionamento geral das cidades. Particularmente no tocante aos sistemas de drenagem urbana, condições operacionais da disposição inadequadas ou deficientes refletem-se na frequente deposição de RSU nos equipamentos urbanos como a drenagem pluvial, nas estruturas de condução, notadamente em emboques de canais e galerias, com a redução da sua capacidade de vazão.

Em reservatórios de retenção e detenção constata-se também a deposição do material proveniente da disposição inadequada dos resíduos sólidos e o consequente comprometimento dos volumes de armazenamento, afetando, assim, o desempenho global dos sistemas.

Além dos aspectos de desempenho operacional dos sistemas de drenagem urbana, a gestão dos RSU afeta significativamente a manutenção da infraestrutura, implicando em custos de manutenção, complexas operações de desobstrução e dragagem. Souza *et al.* (2013), no estudo feito ao respeito dos custos de manutenção em quatro bacias de detenção na cidade de Belo Horizonte (Brasil), concluíram que 78% dos gastos feitos utilizando o orçamento correspondente à manutenção dos equipamentos de drenagem pluvial corresponderam a retirada de resíduos sólidos, salientando que o orçamento deve ser utilizado também para outro tipo de obras de melhorias estruturais e não estruturais com o objetivo de garantir o bom funcionamento do sistema.

Dentro desta óptica, autores como Aguiar e Baptista (2011), em estudo sobre a deterioração das estruturas de drenagem pluvial feitas em concreto, concluíram que materiais associados aos resíduos de construção civil (RCC) como escombros, pedras, cascalho entre outros, estão entre os principais responsáveis pela erosão estrutural por abrasão, gerada pelo carregamento destes materiais e pela ação da água que os fricciona na superfície dos equipamentos.

Os mesmos autores acrescentam que o fenômeno pode ser agravado com o aumento da turbulência dos fluxos e da vazão, podendo deixar ao descoberto partes estruturais suscetíveis de afetar o funcionamento hidráulico e a retenção de resíduos transportados pela água (AGUIAR e BAPTISTA, 2011).

Neste sentido, a compreensão da dinâmica da produção, disposição e transporte de resíduos sólidos dentro de uma bacia hidrográfica urbana pode constituir um fator importante na tomada de decisões no que diz respeito à gestão dos recursos aplicados diretamente nos serviços de limpeza urbana, à definição de estratégias a adotar e definição de metas de varrição, rota e frequência de coleta, como o estabelecimento de ações que permitam efetivamente avaliar e gerenciar os fatores envolvidos e promover a redução de custos de manutenção das infraestruturas de drenagem, das despesas da saúde pública e o saneamento em geral (AGUIAR e BAPTISTA, 2011).

4.1.2 Contexto normativo

O tema relacionado aos resíduos sólidos encontra-se associado ao crescimento da população e os padrões de consumo variáveis no decorrer do tempo, influenciados pelos avanços no processamento de materiais para aproveitamento humano.

Neste sentido, em várias oportunidades têm se reunido cientistas, políticos e empresários para tratar do esgotamento dos recursos naturais, dos impactos negativos gerados pelo homem ao meio ambiente e dos padrões de consumo. Dentre este grupo, poder-se-ia citar as conferências internacionais como as realizadas pela organização de Nações Unidas (ONU), em especial a terceira versão denominada Conferência sobre o meio ambiente e desenvolvimento – CNUMAD-92 ou Rio-92, realizada na cidade do Rio de Janeiro (Brasil), no ano 1992.

Na Rio-92, foi consagrado o conceito de desenvolvimento sustentável, dentre os cinco documentos aprovados nessa reunião se encontra a “Agenda 21” que consiste de um acordo estabelecido entre 179 países, para a elaboração de estratégias que objetivem o alcance do desenvolvimento sustentável, no intuito de garantir a melhoria da qualidade de vida no planeta (BRASIL, 1995 e BRÜMMER, 2010).

A propósito da Agenda 21 chama atenção que, da totalidade dos capítulos, três destes tratam da questão de resíduos sólidos (19, 20 e 21). O capítulo 19 trata do manejo ecologicamente saudável das substâncias químicas tóxicas, incluída a prevenção do tráfico internacional ilegal dos produtos tóxicos e perigosos.

O artigo 20 aborda o manejo ambientalmente saudável dos resíduos perigosos, incluindo a prevenção do tráfico internacional destes resíduos e o capítulo 21 trata do manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com os esgotos, sendo que neste último capítulo se estabelecem as bases para o manejo integral dos resíduos sólidos nos municípios, contemplando as ações de redução dos resíduos, do sistema de coleta, reciclagem e reaproveitamento e sua disposição final.

O Brasil, país signatário do acordo, estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, após um longo processo mediante a lei 12.305, de 2 de agosto do 2010, que é o marco regulatório adotado com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento dos resíduos sólidos.

Dentre as regulamentações dos resíduos sólidos cabe mencionar também suas normativas de classificação definidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 10.004/2004 que trata especificamente da classificação dos resíduos sólidos adotada no Brasil e estabelece os procedimentos de verificação do tipo de resíduos quanto a sua origem e classe, incluindo para tal as normas ABNT 10005/04, 10006/04 e a 12808/1993, esta última tratando da classificação dos resíduos de saúde.

4.1.3 Definições e classificações

Os chamados resíduos sólidos são parte de um tema que tem sido objeto de grande interesse dos governos, para o qual cada país conta com uma regulamentação específica, na procura da minimização dos impactos advindos da sua inadequada disposição.

A União Européia (UE, 2006) define os resíduos sólidos na Diretiva 2006/12/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, como “aqueles objetos, elementos, matérias, materiais e substâncias que o possuidor desfaz, tem a intenção de desfazer-se ou é obrigado, por deixarem de ter utilidade ou por tornam-se inadequadas para sua utilização”.

A UE menciona que à categoria de resíduos pertencem os produtos fora de validade, os derramados, os contaminados, os resultantes de processos antipoluição, industriais, de extração e preparação de matérias primas, maquinagem e acabamento (UE, 2006).

Em conformidade com o conceito de resíduos estabelecido pela União Europeia (EU), constata-se que este é abrangente a todas as atividades humanas, ao incluir processos de transformação e características físicas gerais nas quais se podem encontrar os resíduos.

Já a legislação nacional brasileira estabelece o conceito de resíduos e acrescenta a este a palavra sólida ao termo. Sobre esse assunto, a definição dos resíduos sólidos na política nacional estabelece como todos aqueles materiais, substâncias, objetos ou bens descartados que provém de atividades humanas.

A definição acrescenta a forma adequada de disposição, devendo ser preferencialmente em estado sólido e semissólido e, em casos especiais, em estado líquido ou gasoso, quando sua composição precise de soluções onerosas e tecnificadas, associadas ao difícil acesso nas tecnologias ou pela inviabilidade de seu lançamento na rede de esgotos ou em corpos d'água (BRASIL, 2012).

A ABNT acrescenta à definição dos resíduos sólidos sua origem, que pode ser resultante de atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e de varrição (ABNT, 2004).

Ainda quanto à definição dos resíduos, a legislação colombiana instituída pelo Decreto 838/2005 acrescenta às definições anteriores usos potenciais dos resíduos, assim como valor agregado, mencionando “são suscetíveis de aproveitamento ou transformação em um novo bem, com valor econômico ou de disposição final” (COLOMBIA, 2005).

Conforme as definições apresentadas sobre resíduos, pode-se concluir que os resíduos são resultantes das atividades humanas, no processo de transformação dos materiais utilizados na subsistência da população nas diversas atividades, cujas características dependem de suas matérias primas constituintes e mistura com outros elementos, com possibilidade de valorização e aproveitamento dos materiais que os compõem quando possível.

A classificação dos resíduos sólidos também é um elemento importante para seu manejo e adequada disposição na procura da minimização dos riscos sobre o meio e sobre a saúde humana.

Referente às classificações dos resíduos sólidos, tema amplamente difundido, há existência de vários critérios de categorização, estes dependem das características físicas dos resíduos, de sua composição, grau de periculosidade dos elementos que o conformam, tempo de degradação e assimilação no meio, atividades e locais que o originaram (BARROS, 2012).

Neste sentido, Barros (2012) apresenta uma síntese dos principais critérios de classificação dos resíduos sólidos, dispostos na Tabela 1, que contém cada uma das classes de interesse para seu enquadramento e adequado manejo.

Tabela 1- Síntese dos critérios de classificação dos resíduos sólidos

Critérios de classificação dos resíduos sólidos	Classes
Quanto à origem, fonte ou local de produção	Urbano / rural; Doméstico residencial, domiciliar; Comercial; Industrial, industrial não perigoso; Público; Serviços de saúde (contaminado ou não), hospitalar; Especial; Radioativo;
Quanto à possibilidade de produção de composto	Matéria orgânica; Matéria inorgânica;
Quanto à tratabilidade	Biodegradável; Descartável; Reciclável;
Quanto à economia	Aproveitável; Inaproveitável; Recuperável; Aproveitável para produção de composto;
Quanto ao grau de biodegradabilidade (velocidade/condições de degradação)	Facilmente degradável; Moderadamente degradável; Difícilmente degradável; Não degradável.

Fonte: Barros (2012) (Adaptado)

No que se refere à classificação exposta por Barros (2012), os critérios de classificação referente ao local de geração incluem as classes urbano e/ou rural, doméstico, comercial, industrial, público, hospitalar, especial e radiativo, estes (com exceção das duas últimas classes) são as mais utilizadas nas legislações municipais.

Barros (2012) cita os critérios de classificação correspondentes às características dos componentes e a tratabilidade dos resíduos. Para os primeiros se incluem as classes

matéria orgânica e inorgânica, já o segundo critério de classificação inclui as classes grau de biodegradabilidade, de descarte e de reciclagem, características que contribuem à determinação da disposição e tratamento dos resíduos.

Dentre os critérios de classificação econômica dos resíduos, que correspondem a seu grau de valorização, outorgado por seus componentes, suscetíveis de reaproveitamento e inserção no mercado, Barros (2012) inclui as classes aproveitável, inaproveitável e recuperável. Estas classes são base de programas de reciclagem e reaproveitamento de resíduos.

Chama atenção a abrangência de cada uma das classificações estabelecidas para os resíduos, devido a que sua gestão está ligada à sua normativa, aos recursos disponíveis, ao grau de desenvolvimento da gestão e do gerenciamento dos resíduos produzidos e também ao interesse dos gestores.

Foi do interesse desta pesquisa a identificação dos resíduos sólidos urbanos (RSU) ou municipais, definidos como sólidos e semissólidos produzidos pelas atividades de um centro populacional, isso inclui as atividades domésticas, comerciais, institucionais (hospitais, clínicas, empresas de serviços, escritórios e indústrias), de varrição das ruas e de limpeza pública (OPAS *et al.*, 2010).

Sobre os RSU, o painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) e a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) os definiram como aqueles recolhidos e tratados pelos municípios e ou outras autoridades locais (IPCC, 2006 e OECD, 2014).

Os mesmos autores mencionam que os RSU são afetados na sua composição pelas atividades que os geraram; dentre os mais comuns encontram-se os desperdícios de alimentos, de jardim, papel e papelão, madeira, têxteis, fraldas, borracha, couro, plásticos, metais, vidro (e cerâmica e porcelana), e outros também como cinzas, poeira, sujeira, solo e lixo eletrônico (IPCC, 2006; OECD, 2014).

No Brasil também existe uma classificação estabelecida pela Lei Federal nº 12.305/10¹ no seu artigo número 13, que reúne em parte as definições sobre resíduos sólidos mencionadas e também os categoriza de acordo a sua origem e a sua periculosidade.

Quanto à classificação de origem dos resíduos sólidos de acordo com o artigo número 13 da Lei Federal brasileira nº 12.305/10, citam-se os mais relevantes nesta pesquisa:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas a e b; [...]
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) 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.[...]

A classificação dos resíduos apresentada como de interesse na pesquisa, justifica-se por advir de fontes geradoras inseridas no âmbito municipal urbano e por contribuírem massivamente no montante dos resíduos sólidos gerados nas cidades.

4.1.4 Gestão e gerenciamento

Referindo-se à ‘gestão de resíduos sólidos’, Araújo (2002) a define como “o processo conceber, planejar, definir, organizar e controlar as ações efetivadas pelo sistema de gerenciamento. Por sua vez no documento da Política Nacional de Resíduos sólidos (PNRS) Lei nº 12.305/10, a ‘gestão integrada dos resíduos sólidos’ compreende a todas as ações na busca das soluções para os resíduos sólidos, incluindo ações políticas, econômicas, de desenvolvimento sustentável, ambientais entre outras.

Já para o termo ‘gerenciamento’, Araújo (2002) define-o como “conjunto das ações técnico-operacionais que visam a programar, orientar, coordenar, controlar e fiscalizar os objetivos estabelecidos na gestão”. A este respeito na (PNRS) acrescenta que no gerenciamento dos resíduos sólidos encontram-se as ações de “coleta, transbordo, tratamento e disposição final ambiental adequada” dos resíduos sólidos, que devem adequar-se ao plano municipal (BRASIL, 2012).

¹ Lei Federal nº 12.305/10 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

4.1.5 População e resíduos sólidos

No contexto da dinâmica da produção de resíduos sólidos, vários fatores associados à população influenciam o tipo e quantidade de resíduos gerados, tudo isto devido à vinculação da população no desenvolvimento de atividades próprias da urbanização e o desenvolvimento econômico.

Autores como Hoornweg e Bhada-Tata (2012), numa avaliação global do gerenciamento de resíduos sólidos feita para o Banco Mundial, mencionam que fatores como padrões de vida e renda em países com maior poder aquisitivo incidem na produção e características dos resíduos sólidos produzidos, pelo aumento de consumo de bens e serviços, em comparação com países de baixa renda.

No que tange à produção dos resíduos sólidos urbanos e rurais, ainda os mesmos autores também mencionam que as taxas de produção de resíduos sólidos tendem a ser mais baixas em áreas rurais (HOORNWEG e BHADA-TATA, 2012).

Neste contexto, a produção de resíduos sólidos apresenta marcada influência por vários aspectos (socioeconômicos, demográficos e de ocupação de solo). Silva *et al.* (2012) em estudo realizado sobre a geração de resíduos sólidos domiciliares no município de Belo Horizonte concluíram que nem sempre existe uma relação direta entre o aumento da população com o aumento da produção de resíduos sólidos.

Ainda os mesmos autores verificaram, no estudo de caso, que as áreas que apresentam menor densidade demográfica ocasionada pela presença de domicílios com número reduzido de habitantes e chefes de lar com maior grau de escolaridade e estágios mais avançados de envelhecimento populacional, coincidem com as áreas de população de maior renda, e por sua vez a maior geração resíduos sólidos domiciliares *per capita*, devido a seu consumo altamente orientado para o mercado (SILVA *et al.*, 2012).

No estudo, também se constatou que nas periferias, onde se apresenta população de baixa renda e maior número de habitantes por residência, a geração *per capita* de resíduos domiciliares é menor (SILVA *et al.*, 2012).

O estudo o realizado por Pon e Becherucci (2012), na cidade *Mar del Plata* (Argentina) teve o objetivo de medir abundância e a composição dos resíduos sólidos, verificar a existência de variações temporais na produção dos resíduos e a relação com variáveis antrópicas.

O estudo que foi realizado durante um ano (de abril de 2008 a março de 2009) analisou amostras em 88 trajetos de ruas, cada uma de 1425m², localizadas em quatro zonas da cidade, escolhidas de acordo com as características da dinâmica da cidade e da indústria, ao nível de ocupação urbana, da frequência e da densidade de usuários que a estas áreas se dirigem (PON e BECHERUCCI, 2012).

Neste estudo, verificou-se que a maior quantidade de resíduo coletado correspondeu aos locais com maior afluência de transeuntes e mais próximos das áreas a beira-mar, que os autores denominaram influência do fator de localização. Também se encontrou relação entre o depósito dos resíduos e a presença de carros estacionados (PON e BECHERUCCI, 2012).

A influência do fator de localização e as maiores quantidades de resíduos sólidos encontrados a beira-mar, evidenciaram a população também como origem do problema, devido à falta de consciência ambiental em torno à disposição adequada dos resíduos, resultando em seu acúmulo em locais impróprios.

A propósito da dinâmica da geração de resíduos sólidos em áreas urbanas e sua importância no planejamento de sistemas de gestão e gerenciamento, na cobertura do serviço, qualidade e minimização dos impactos ambientais, trabalhos como os de Dangi *et al.* (2011) e de Li *et al.* (2011), foram analisados. Estes autores mediante modelagem estimaram a geração de resíduos sólidos para as cidades de Katmandu (Nepal) e Beijing (China), com o objetivo de levantar informações para o estabelecimento e melhorias no serviço de limpeza urbana nestas cidades.

No estudo feito, Dangi *et al.* (2011) estimaram a produção de resíduos sólidos na cidade metropolitana de Katmandu (CMK), por meio da investigação em campo usando como variáveis a estratificação socioeconômica dos domicílios dividida em quatro grupos correspondentes a renda baixa I, média baixa II, media superior III e renda alta IV.

Os resíduos de estabelecimentos públicos também foram amostrados, sua classificação incluiu escolas nas categorias incluíram ensino médio, escolas privadas e faculdades. Locais comerciais como hotéis e restaurantes, com categoria de serviço diferenciada, ademais de 4 trechos de 100 metros cada um de ruas da cidade localizados em áreas de baixo, médio e alto fluxo de transeuntes, entre os quais se encontravam um trecho localizado na área mais antiga da cidade, outro próximo a uma praça de mercado, uma rua principal e finalmente um trecho localizado numa área residencial.

Os principais resultados Dangi *et al.* (2011) são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2- Geração de resíduos em Kathmandu (Nepal)

Setores de estudo	Total estudado	Total produzido	Orgânicos %	Plásticos %	Papel %	Metais %	Vidro %
Residências	333	497,3 g/ hab.dia	71	12	7,5	0,5	1,3
Hotéis	3	113,3 kg/dia	57,8	9,6	3,3	16,9	8,8
Rua	4	69,3 t/m.dia	63,7	8,8	10,2	1,7	2,7
Restaurante	3	48,5 kg/dia	53,4	5,1	5,3	0,9	31,6
Escolas	3	26,1 kg /dia	38,6	20,3	12,7	2,5	0

Fonte: Dangi *et al.*(2011) (Adaptado)

Os autores concluíram que poderia ser provável que os resíduos coletados nas ruas foram encontrados pela falta de disponibilidade de contentores de lixo ao longo das calçadas e cruzamentos. Também salientaram que é importante analisar o tipo de resíduos da construção civil devido a que poderia ser reutilizado na adequação de calçadas e obras de pavimentação, já que na data que se realizou a pesquisa a cidade não contava com plano de manejo para este tipo de resíduos e eram dispostos de modo igual aos demais resíduos.

Dangi *et al.* (2011) encontraram que os plásticos são um tipo de resíduos que apresenta geração em função da riqueza dos estratos e que, em geral, a taxa de geração de resíduos *per capita* apresentou uma diminuição com o aumento do tamanho da família e um aumento na taxa de geração de resíduos domésticos com o aumento do número de pessoas por família.

Já para o estudo feito por Li *et al.* (2011), foram utilizados dados governamentais fornecidos pelo escritório de estatística de Beijing, correspondentes à tipificação dos bens consumidos e ao tempo de consumo desses bens na cidade por residentes da cidade. O modelo simulou a geração de resíduos sólidos no período compreendido entre o ano 2004 e 2008.

De acordo com Li *et al.* (2011), o modelo desenvolvido baseou-se em interrelações entre o tipo de residentes (os quais foram baseados em perfis etários), as atividades realizadas pela população, os gastos financeiros realizados no consumo de bens ao executar cada uma das atividades, o tempo utilizado na sua realização e a composição dos resíduos sólidos.

Os autores concluíram que o modelo teve uma alta precisão na previsão da produção de resíduos urbanos e que, conforme estudo, os resíduos que mais apresentaram-se na geração correspondem aos associados às atividades de manutenção com predominância de resíduos de cozinha e matérias recicláveis, seguidos dos resíduos produzidos nas atividades de lazer e por último nas atividades de subsistência (LI *et al.*, 2011).

Do ponto de vista dos autores Li *et al.* (2011), deve-se prestar maior atenção à população flutuante visto que ela faz parte ativa da produção de resíduos e é conformada por pessoas que chegam à cidade por motivos diversos, ficando nestas por um curto período de tempo; por conseguinte, passam a produzir resíduos.

Nas conclusões das pesquisas, os autores Dangi *et al.* (2011) e Li *et al.* (2011) definiram a renda como o fator que mais contribui na geração de resíduos sólidos, sendo que o segundo fator corresponde à densidade populacional, incluindo população flutuante em áreas centrais e de alto fluxo de transeuntes.

Dangi *et al.* (2011) acrescentam ainda que os resíduos da construção civil representam grave problema por coleta e disposição inadequadas, sendo frequentemente subestimados, requerendo atenção similar à disposição inadequada de resíduos nas ruas por parte dos transeuntes.

Estudos realizados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) definem o cenário panorâmico do contexto de resíduos

sólidos para o Brasil em um relatório anual, em termos da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU). Os resultados apontados para o ano 2014 são apresentados na Tabela 3, fazendo a distinção da geração de acordo com cada região.

Tabela 3- Geração RSU Brasil por regiões ano 2014		
Regiões	RSU coletado (t/dia)	Geração <i>per capita</i> (kg/hab/dia)
Norte	12.485	0,722
Nordeste	43.330	0,771
Centro-Oeste	15.826	1,040
Sudeste	102.572	1,205
Sul	21.047	0,725
Total Brasil²	195.233	0,963

Fonte: ABRELPE, (2015) (Adaptada)

Na tabela percebe-se que a geração de RSU teve menor valor registrado para a região Norte do país e, em contrapartida, maior na região Sudeste; da mesma forma também se verifica que o menor índice de geração *per capita* coincide com a região Norte e o maior com a região Sudeste. Salienta-se que a base de dados utilizada na construção do panorama consta-se do registro de coleta das empresas de serviço de limpeza urbana para cada região.

Outros estudos pesquisados correspondem aos realizados por Pinto *et al.* (2012), Silva *et al.* (2012) e Dias *et al.* (2012), que buscam a identificação dos fatores que influem na geração de resíduos sólidos na cidade de Belo Horizonte.

No primeiro estudo, Pinto *et al.* (2012) focam os fatores sociais, econômicos e demográficos associados à geração de resíduos sólidos na cidade; para isso, utilizaram informações extraídas do Censo Demográfico referentes a renda, anos de estudo, sexo, raça e idade do responsável do lar. Na análise também foi utilizado o Índice de Qualidade de Vida Urbana da cidade (IQVU)³, calculado pelas Secretarias de

² Os autores mencionam que a geração *per capita* (Kg/habitante/dia) referente ao ano 2014 foi calculada com base na população total do Brasil, que para esse ano correspondeu a 202.799.518 Habitantes.

³ O IQVU é um índice calculado pela Secretaria de Planejamento da Prefeitura de Belo Horizonte que utilizando as informações dos órgãos municipais e dos prestadores de serviços públicos, calcula as desigualdades sociais na cidade no que tange a bens e

Planejamento da Prefeitura do município de Belo Horizonte para estimar a desigualdade no fornecimento de serviços, infraestrutura e qualidade de vida dos cidadãos, assim como dados sobre a geração de resíduos sólidos, fornecidos pelas entidades da limpeza urbana da cidade.

Finalmente, utilizando métodos estatísticos os autores correlacionaram a geração de resíduos sólidos com cada uma das possíveis variáveis independentes e ajustaram o modelo, concluindo que as variáveis que mais impactaram na geração de resíduos sólidos no município corresponderam ao IQVU e o número de moradores na Área de Ponderação (AP)⁴ estabelecido pelo censo demográfico, e que a relação IQVU e geração de RSU é direta e crescente.

Do mesmo modo, Silva *et al.* (2012) em estudo feito sobre a geração de resíduos sólidos domiciliares em Belo Horizonte, usando como variáveis de análise informações socioeconômicas e demográficas do município, especificamente relacionadas a renda, educação, estrutura etária e domiciliar e a informação estatística da geração de resíduos sólidos da cidade. Os autores concluíram que áreas que apresentam população de maior renda apresentam maiores taxas de geração RSU *per capita*, devido ao seu potencial de consumo.

Os mesmos autores mencionam ainda que as zonas da cidade com alto níveis socioeconômicos apresentam menor densidade demográfica. Assim, os autores concluíram que nem sempre existe relação direta entre o aumento da população e o aumento da produção de RSU, sendo que nas periferias, com população de baixa renda e maior número de habitantes por residência, a geração *per capita* é menor.

Dias *et al.* (2012), em estudo feito para o estabelecimento de um modelo de geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos incluindo Belo Horizonte, concluíram que o aumento da produção de resíduos sólidos na cidade, no período de estudo

serviços no espaço intraurbano. O IQVU tem 38 Indicadores agrupados em componentes que correspondem às dimensões mais importantes da qualidade de vida urbana (Abastecimento, Cultura, Educação, Esportes, Habitação, Infraestrutura, Meio Ambiente, Saúde, Serviços Urbanos e Segurança Urbana), que para efeitos de cálculo recebem um peso específico de acordo com a sua importância relativa. (<http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/contents.do?evento=conteudo&idConteudo=31787&chPlc=31787&viewbusca=s%3E/>) acesso em 05 de agosto de 2015.

⁴ A Área de Ponderação é a menor área geográfica para a qual podemos calcular estimativas baseadas nas informações do questionário da amostra. É o nível geográfico definido para a aplicação dos procedimentos estatísticos que permitem usar os dados da amostra como válidos para a população. Uma Área de Ponderação é sempre um conjunto de Setores Censitários e cada Setor pertencerá sempre a uma única Área de Ponderação. (<http://gestaocompartilhada.pbh.gov.br/estrutura-territorial/setores-censitarios-e-areas-de-ponderacao>) acesso em 08 de agosto de 2015.

compreendido entre o 2006 a 2010, pode ter sido influenciado pelo aumento da cobertura do serviço de limpeza urbana e, por conseguinte, nos registros das quantidades geradas.

No estabelecimento do modelo os autores utilizaram variáveis socioeconômicas extraídas das pesquisas socioeconômicas conjunturais mensais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) sendo estas relacionadas a renda, classificação, tamanho e distribuição econômica da população. Os dados correspondentes a massas de resíduos de coleta domiciliar de edificações residenciais, comerciais, públicas e de prestação de serviços, foram utilizados na modelagem, não sendo objeto de estudo os resíduos sólidos lançados na via pública, de varrição, especiais ou de saúde (DIAS *et al.*, 2012).

Por fim, os autores observaram que há sazonalidade na produção de resíduos sólidos, associada tanto a influências climáticas e de renda, também relacionada possivelmente ao recebimento do décimo terceiro salário ao final do ano.

4.2 Drenagem urbana

Nas relações do ser humano com o meio ambiente, a água sempre desempenhou um papel importante. No passado, quando as populações eram nômades, o ser humano mantinha um contato direto com os sistemas hídricos naturais, mediante o aproveitamento do seu potencial no fornecimento de alimentos provenientes da água, manutenção de suas necessidades de consumo, limpeza e deslocamento.

Este fatos são também mencionados por Baptista *et al.* (2011) e Moura *et al.* (2009), quando descrevem que existem registros da proximidade das primeiras aglomerações humanas a corpos de água, estes locais eram escolhidos por sua disponibilidade hídrica, o que garantia em parte as expectativas de população para o suprimento de suas necessidades de consumo, alimentação (insumo em atividades agrícolas), limpeza e higiene, exercendo funções também de defesa e proteção, de comunicação e comércio pela possibilidade de navegação.

Como exposto anteriormente, a rede de drenagem natural teve uma grande relevância no desenvolvimento das primeiras cidades. Baptista e Cardoso (2013) mencionam que, devido ao aumento da população que utilizava os corpos de água para evacuar seus

dejetos e as mudanças no uso de solo, os cursos de água começaram a sofrer processos de degradação, resultando em impactos ambientais e hidrológicos.

Os mesmo autores também afirmaram que nas cidades antigas, a percepção dos rios como elementos integradores da paisagem ia-se perdendo, devido aos efeitos desfavoráveis vinculados à água, como o aumento gradativo das inundações em cada temporada de chuvas, atingindo cada vez um número maior da população assentada nas áreas ribeirinhas.

Nestes eventos, as águas de chuvas entravam em contato com latrinas criando as condições adequadas para o desenvolvimento de microorganismos geradores de odores e transmissores de doenças.

Os primeiros sistemas clássicos de drenagem tentaram resolver os problemas supracitados, quando as consequências chegaram a fatos catastróficos como a ocorrência de epidemias de cólera e tifo no século XIX na Europa.

Os sistemas clássicos de drenagem começaram então a serem utilizados como medida de saúde pública, pelo nascente movimento higienista (SILVEIRA, 1998), na procura de solucionar os problemas associados à água, utilizando a premissa da evacuação rápida das águas pluviais e servidas (BAPTISTA *et al.*, 2011).

No decorrer do tempo e com a expansão do uso da drenagem urbana, começaram-se a vislumbrar os impactos, associados à evacuação rápida das águas e ao crescimento das cidades. De acordo com Tucci (1995), estes fazem referência à maior da velocidade de escoamento, antecipação e aumento dos picos da vazão e do escoamento superficial, fatores que impulsionaram a necessidade de estudos hidrológicos mais minuciosos para um melhor dimensionamento da drenagem urbana.

Silveira (1998) afirma que, na década do 1970, devido a diferentes fenômenos sociais, incluindo o ambientalismo nos países com maior grau de desenvolvimento, temas como a presença de matéria orgânica e outro tipo de contaminantes nas águas pluviais, assim como o impacto do esgoto lançado *in natura*, tomaram maior relevância, confirmando a necessidade de tratamento das águas e de esgotos.

Nesse desenvolvimento de novos pontos de vista, Baptista *et al.* (2011) acrescentam que, a partir desse momento ocorreu o surgimento de uma corrente de pesquisas em nível mundial, na procura de tecnologias alternativas que minimizassem os efeitos negativos da urbanização e dos sistemas clássicos de drenagem, dando origem ao conceito de técnicas alternativas ou compensatórias da drenagem urbana, que hoje integram conceitos mais amplos como o LID⁵ (*Low Impact Development*), que no Brasil se conhece por Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto.

4.2.1 Sistemas clássicos de drenagem

O sistema clássico de drenagem urbana está conformado pela microdrenagem e macrodrenagem. Estes sistemas tentam utilizar a dinâmica do escoamento superficial afetada pela intervenção na paisagem natural nas cidades e tem como objetivo da evacuação rápida das águas pluviais.

4.2.1.1 Microdrenagem

A microdrenagem é o sistema encarregado de conduzir as águas da bacia hidrográfica até a macrodrenagem.

De acordo com Bidone e Tucci (1995) e Baptista *et al.* (2011), a microdrenagem corresponde ao sistema de dispositivos ou condutos pluviais em nível de loteamento que efetuam a captação das águas superficiais das ruas e utilizando ação da gravidade as transportam até o sistema de macrodrenagem.

Os dispositivos e obras de engenharia civil que conformam a rede de drenagem pluvial incluem sarjetas, bocas de lobo, poços de visita, trechos, tubos de ligação, meio-fio, condutos forçados e estações de bombeamento (BIDONE e TUCCI, 1995; SÃO PAULO, 2012).

No sistema de microdrenagem, as vias apresentam grande importância no seu dimensionamento hidráulico, de tal forma que somente há existência de um sistema

⁵O LID é uma abordagem americana que fundamentada no menor impacto no ciclo hidrológico inclui uma série de técnicas, medidas estruturais e não estruturais para desenvolvimento urbano, mediante a valorização do papel dos elementos naturais na paisagem.

projetado de drenagem pluvial em função da presença de ruas definidas no traçado urbano, caracterizadas por apresentar uma declividade transversal ou abaulamento que facilitam o fluxo de água até as sarjetas, (BIDONE; TUCCI, 1995), como consta na Figura 2.

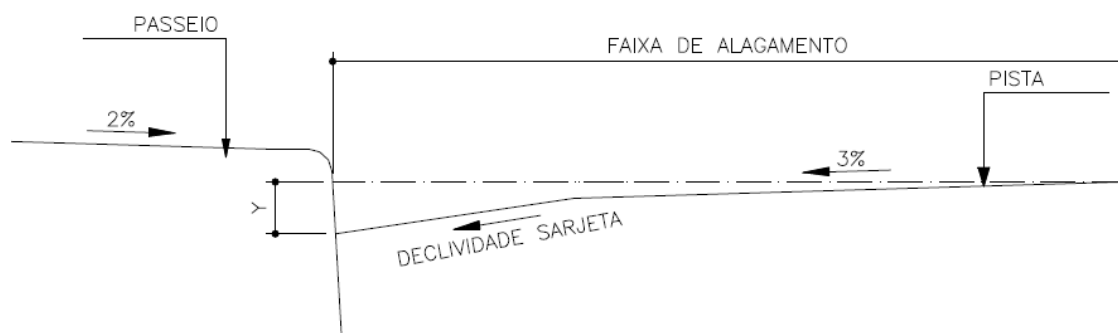


Figura 2- Seção típica de uma via

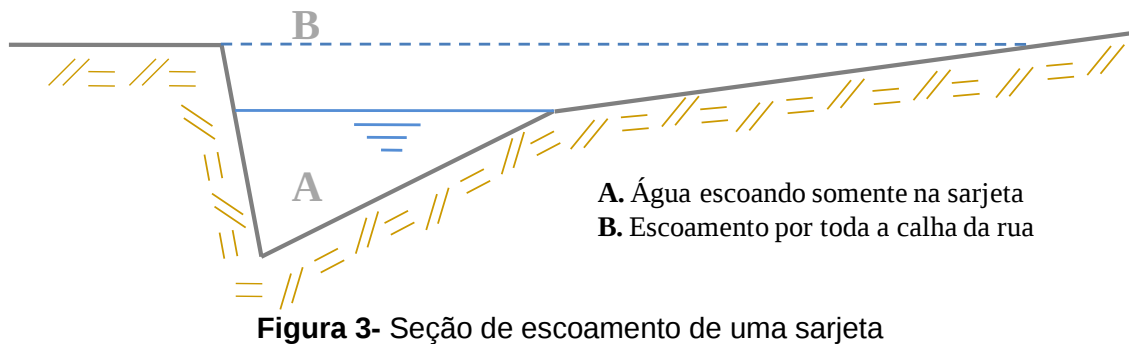
Fonte: SUDECAP (2004)

A este respeito, a prefeitura municipal de Belo Horizonte SUDECAP (2004) estabelece que, para a definição da área de drenagem das vias, deve-se levar em conta a metade da largura da faixa da pista, correspondente à área contribuinte do escoamento à sarjeta.

Os autores também mencionam que, no planejamento das ruas, se deve incluir os dados da vazão para que seu traçado não afete o fluxo da água e que essas devem apresentar declividade transversal, com inclinações de acordo à topografia da cidade (BIDONE; TUCCI, 1995).

Referente às sarjetas, estas são faixas nas vias públicas que, com uma declividade entre a via e ou meio-fio, forma uma calha receptora das águas pluviais provenientes da água escoada pela via.

Bidone e Tucci (1995) mencionam que o dimensionamento hidráulico da rua no Brasil depende do critério de projeto, apresentando duas situações, a primeira da água escoando por toda a calha da rua e a segunda escoando somente pelas sarjetas (Figura 3).



Dentre outros equipamentos que conformam o sistema de microdrenagem, as bocas de lobo são estruturas localizadas nas sarjetas, cuja função é captar a vazão superficial, permitindo a condução das águas pluviais para a rede de drenagem.

Existem diversos tipos de bocas de lobo, entre estes os mais usados no Brasil correspondem às bocas de lobo tipo A (simples), tipo B (com grelha), tipo C (combinadas) e múltiplas. Estes tipos podem-se encontrar com depressão ou sem depressão no pavimento (Figura 4).

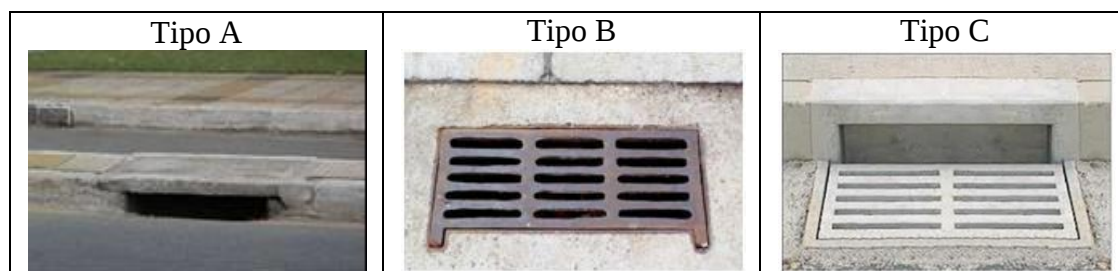


Figura 4 - Tipos de bocas de lobo

Em Belo Horizonte os projetos de drenagem urbana são elaborados segundo as instruções da Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP). De acordo com esta, as bocas de lobo tipo A ou simples também são definidas como bocas de lobo de cantoneira, por ser dotadas de uma abertura vertical na guia, por onde é captada a água da sarjeta. Neste tipo, há pouca obstrução por detritos, mas estes atingem os talvegues ou cursos d'água (SUDECAP, 1985).

As bocas de lobo tipo B apresentam grelhas que podem ser em concreto ou ferro fundido e têm como desvantagem a obstrução parcial de sua área útil ocasionada pela retenção de resíduos carregados pelo escoamento superficial proveniente das ruas. Contudo, a grelha impede que estes alcancem as tubulações da rede de drenagem e por fim, a rede fluvial.

Boca de lobo tipo C é aquela que apresenta associação da boca de lobo simples com a de grelha; por esse motivo, se denomina combinada ou mista SUDECAP (1985). Assim, a boca de lobo tipo C é a que apresenta a melhor eficiência na captação do deflúvio, mas não oferece o mesmo grau de proteção quanto à do tipo B, permitindo o ingresso de detritos no interior da rede de evacuação.

Internamente a boca de lobo possui uma estrutura denominada caixa coletora (Figura 5), que recebe a captação do escoamento superficial das vias agrupando-o e confluindo para o sistema de galerias.

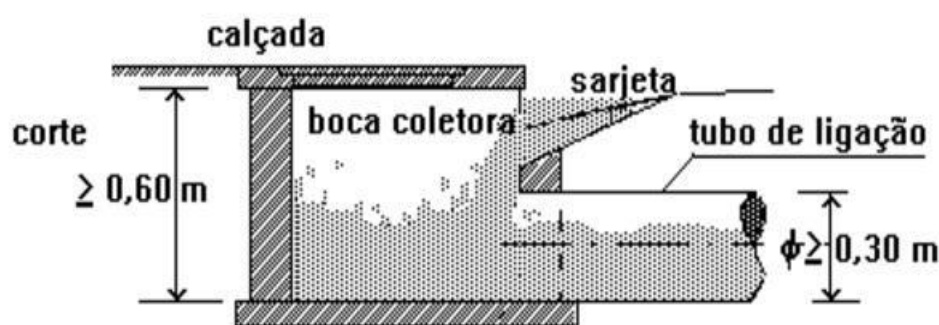


Figura 5- Boca de lobo simples (Vista lateral)

Fonte: Fernandes (2002)

As redes de drenagem são condutos destinados a conduzir o escoamento superficial captado nas bocas de lobo e os provenientes de ligações privadas. Quando empregado o termo “trechos de rede”, refere-se ao fragmento destas tubulações situado entre dois poços de visita (BIDONE; TUCCI,1995).

Já o termo “sistema de redes” (Figura 6) tecnicamente usado na microdrenagem engloba tanto os condutos propriamente ditos, como também o conjunto de equipamentos vinculados entre estes como as bocas coletoras (bocas de lobo), poços de visita, condutos e caixas de ligação que cumprem a função realizar o transporte das águas pluviais (FERNANDES, 2002).

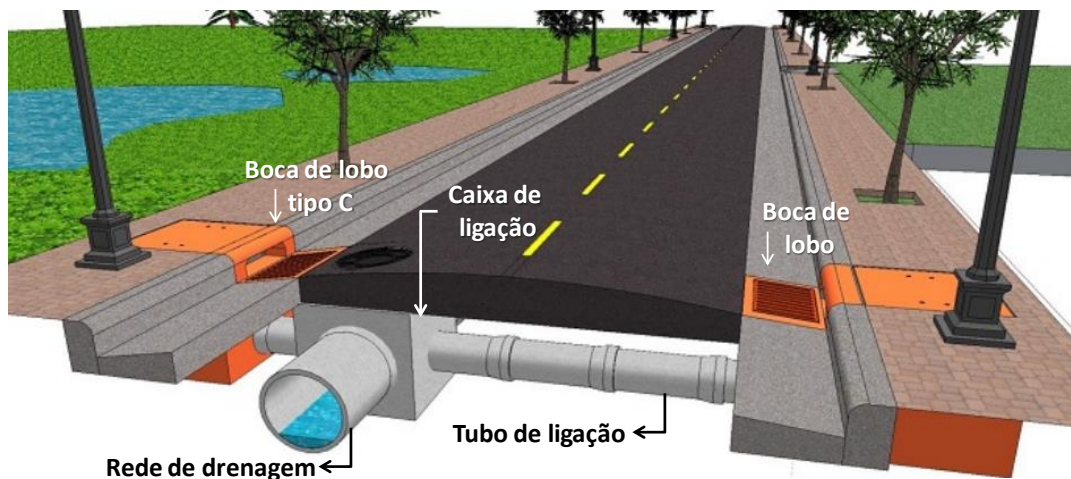


Figura 6- Sistema de microdrenagem

Fonte: Moraes (2015) (Adaptado)

Na maioria das cidades do Brasil, as galerias são desenhadas para funcionamento como condutos livres, que se caracterizam pelo fluxo do escoamento por meio das forças gravitacionais.

As galerias se caracterizam pela presença de seções plenas, velocidades que dependem do material de fabricação e de sua forma, que varia de circular de acordo com diâmetro da tubulação empregada para atender às velocidades mínimas e máximas de projeto. Em casos especiais as galerias são desenhadas em seções quadradas ou retangulares, com paredes verticais em alvenaria e lajes horizontais em concreto armado (BIDONE e TUCCI,1995).

Existem entre cada trecho de galerias infraestruturas em forma de câmara, destinadas a reunir os trechos conformando o sistema de galerias. Estas são conhecidas como poços de vistas.

Os poços de visita também têm por função a reunião de vários coletores de drenagem, contribuem na ligação entre pontos de mudança de direção, mudança de diâmetro de condutos das galerias ou de declividade, preferivelmente localizados nos cruzamentos das ruas (SÃO PAULO, 2012).

Os poços de vista permitem o acesso às canalizações por meio de uma abertura instalada na parte superior ao nível do terreno, possibilitando a execução de trabalhos de manutenção para garantir bom funcionamento do sistema. Quando existem diferenças

de nível entre um conduto e outro superior a 0,70 m conectados ao poço de visita este passa a ser poço de queda (FERNANDES, 2002).

Outra estrutura que permite a ligação entre galerias são as caixas de passagem ou ligação, utilizadas em locais onde se pretende evitar a conexão de mais de 4 tubulações num poço de visita. Sua função é similar ao poço de visita, somente não está desenhada para permitir o fácil acesso para a manutenção.

4.2.1.2 Macrodrenagem

O sistema de macrodrenagem encarrega-se do transporte da grande massa de água da bacia proveniente do sistema de microdrenagem. Em estado natural a macrodrenagem inclui os rios e córregos naturais, os quais transportam para a jusante a vazão dos rios tributários, mas que devido à impermeabilização dos solos estes sistemas foram modificados na procura de um melhor atendimento de sua função.

Dependendo do grau de modificação ou interferência nos canais, estes podem ser encontrados sem e com intervenções. Para o primeiro caso encontram-se os canais em leito natural. Já os canais que apresentam intervenções, encontram-se canais com leitos revestidos (fechado ou aberto), retificados, com controle de rugosidade das paredes, e com seções geométricas modificadas.

Geralmente as intervenções nos canais abertos, se fazem necessárias devido ao aumento da impermeabilização do solo que conseqüentemente gera maior escoamento superficial requerendo canais que evacuem com maior velocidade o pico de vazão gerado nos eventos de elevada precipitação (SÃO PAULO, 2012).

De acordo a sua forma, os canais abertos se classificam em trapezoidal, retangular, triangular e circular. Também são denominados condutos livres por apresentar uma superfície em contato com a atmosfera.

Os condutos abertos sofrem uma pressão antrópica do aporte de resíduos sólidos por parte da população, que inadequadamente utiliza suas calhas e margens como locais de destinação de seus resíduos sólidos o que pode acarretar comprometimento em seu funcionamento (SÃO PAULO, 2012).

Já os canais fechados podem apresentar formas variadas, entre estas circulares e retangulares que são usados como galerias subterrâneas alocadas usualmente em áreas densamente urbanizadas devido à limitação de espaço, assim sua superfície pode ser aproveitada como malha viária.

As galerias por serem fechadas, apresentam difíceis condições de manutenção o que favorece o acúmulo de matérias como sedimentos e resíduos sólidos que até elas chegam transportados pela água, resultando em perda de eficiência hidráulica.

4.2.2 Técnicas compensatórias

As técnicas compensatórias, conhecidas também como tecnologias alternativas, são soluções estruturais que surgiram com o objetivo de mitigar e neutralizar os efeitos negativos da drenagem clássica sobre o ciclo hidrológico, ocasionados pela canalização dos rios para promover a rápida evacuação das águas afetando a recarga dos aquíferos subterrâneos, a translação das inundações a jusante, e problemas de qualidade de água, ocasionados pela exclusão dos rios da paisagem urbana, entre outros (BAPTISTA *et al.*, 2011).

Dentre as técnicas mais utilizadas no Brasil se encontram estruturas de armazenamento temporário das águas, pavimentos porosos e estruturas que favorecem a infiltração, ou o escoamento lento, entre elas as trincheiras de infiltração e telhados verdes.

Outras estruturas importantes bastante usadas no Brasil correspondem aquelas que tratam o problema das inundações a jusante mediante o amortecimento das cheias. Estas estruturas são as bacias de detenção e as bacias de retenção, caracterizadas por apresentar um volume livre para armazenamento das águas, sobretudo dos escoamentos produzidos pelas vazões mais elevadas de um evento, dotada de uma estrutura hidráulica de saída (controlada ou não) e um vertedor de emergência (BAPTISTA *et al.*, 2011).

As bacias de detenção são reservatórios que permanecem secos a maior parte do tempo, mas que recebem o aporte das águas somente nos dias em que acontecem eventos de precipitação. Este tipo de bacia pode ser utilizado para atividades de lazer como implantação de quadras esportivas, de patinagem como apresentada na Figura 7.



Figura 7- Bacia de retenção na bacia Maurice Audin – França

Fonte: BAPTISTA *et al.*(2011)

As bacias de retenção são aquelas que recebem constantemente o fluxo de águas, contando com um espelho d'água permanente, cujo objetivo é conter e amortecer a cheia de jusante, a decantação de partículas sólidas contidas no volume armazenado, por conseguinte redução da carga de poluentes. Usualmente é construída ao entorno de uma linha de drenagem natural que recebe a confluência de outras linhas do trecho de montante (BAPTISTA *et al.*, 2011).

Outras bacias que também são utilizadas correspondem às bacias de infiltração que mantém a bacia de retenção e também desempenha a função de infiltração de águas pluviais. Seu desenho visa exclusivamente promover a infiltração, portanto não possui forçosamente dispositivo hidráulico de saída (BAPTISTA *et al.*, 2011).

4.3 Drenagem urbana e resíduos sólidos

Diversos estudos têm tratado da influência dos resíduos sólidos que afluem ao sistema de drenagem urbano. Muitos destes estudos fizeram mensuração direta da massa de resíduos retida no exútorio da drenagem da bacia, outros aplicaram a abordagem teórica da geração de resíduos por meio de modelos que consideraram as características típicas da área de estudo.

No estudo realizado por Allisson *et al.* (1998) em Coburg, aglomerado subnormal na Austrália, foram investigados os tipos e cargas de poluentes aportadas ao sistema de

drenagem, sendo estes associados a eventos de precipitação. A área estudada encontrava-se inserida no perímetro urbano e apresentava usos de solo diferenciados. Os resultados da pesquisa são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4- Carga de resíduos no estudo realizado em Corburg (Austrália)

Uso de solo	Área (ha)	Carga total seca g/ha	
		Precipitação 7 mm	Precipitação 12 mm
Residencial	20,2	291	308
Mista	15,8	370	572
Industrial	2,5	241	64
Saída da bacia	150	353	408

Fonte: Allisson *et al.*(1998) (Adaptado)

O estudo de Allisson *et al.*(1998) demonstrou nitidamente a influência da precipitação no transporte de resíduos sólidos até o sistema de drenagem pluvial; também se demonstrou, que a carga é afetada pela tipicidade do uso de solo. Outra consideração importante foi verificar que a dinâmica do transporte dos resíduos não é diretamente proporcional à quantidade aportada, isso devido a que parte dos resíduos que chegaram ao sistema de drenagem foram retidos na rede e somente uma parte deles chegou ao exutório.

Outra pesquisa realizada por Marais *et al.* (2004) buscou por meio do método direto identificar o impacto dos resíduos sólidos sobre os sistemas de drenagem, através da quantificação e tipificação dos poluentes aportados utilizando coletores de resíduos nas bocas de lobo e redes nos condutos no final da bacia. O estudo foi realizado em nove bacias na Cidade do Cabo (África do Sul). Na escolha da bacia, preconizou-se a composição por diferentes usos de solo, perfis socioeconômicos e densidade demográfica. Os resultados da pesquisa são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5- Estudo e bacias urbanas na Cidade do Cabo (África do sul)

Bacia estudada	Uso de solo	Carga média anual de resíduos (kg/ha. ano)		
		*	**	***
		2000/2001	2000/2001	2000/2001
Imizamo Yethu	Área residencial informal com população muito pobre e sem varrição nas ruas	58	45	8
Ocean View	Área residencial com população pobre e sem varrição nas ruas. Presença de condomínios com apartamentos de 3 andares e com densidade habitacional em torno de 60 hab/ha)	102	41	53
Cape Town	Centro comercial de Cape Town, com prédios de escritórios, hotéis, lojas comércio informal, terminal de ônibus Ruas varridas até 3 vezes ao dia com eficiência de remoção de aproximadamente 99%	67	23	42
		65	22	41
		113	59	43
Fresnaye	Área residencial com alguns apartamentos e população de renda alta e densidade habitacional de menos de 20 hab/ha	62	0	62
Summer Greens	Área residencial com população de renda média e sem varrição nas ruas. Densidade habitacional maior que 55 hab/ha	14	6	3
Montague Gardens	Área com indústrias leves e sem varrição das ruas	45	28	2
Welgeoed	Área residencial com população de renda alta e sem varrição nas ruas. Densidade habitacional em torno de 15 hab/ha	29	0	29

*Excluindo areia, ** Excluindo areia, pedras e vegetação, *** Excluindo somente vegetação

Fonte: Marais *et al.* (2004) (Adaptado)

Dentre as contribuições do estudo, Marais *et al.* (2004) evidenciaram que a eficiência no serviço de limpeza urbana é um fator que contribui para a diminuição dos resíduos que chegam até o sistema de drenagem, razão pela qual se associou que, em áreas de alta renda que apresentaram uma melhor cobertura de serviço de limpeza, as quantidades de resíduos na drenagem foram baixas em comparação com os bairros populares e favelas.

Adicionalmente, o estudo realizado na Cidade do Cabo contribuiu para reconhecimento do tipo e quantidade de lixo que chega até aos equipamentos de drenagem, compostos em ordem decrescente na maioria por vegetação, plástico e resíduo da construção civil.

Por sua vez, no Brasil têm-se desenvolvido diversas pesquisas que tratam da quantificação e/ou caracterização dos resíduos sólidos que chegam ou que afluem na rede de drenagem. Autores como Brites e Gastaldini (2007), Salles *et al.* (2012),

Gonçalves (2013) e Gava e Finotti (2012) realizaram estudos de caso em bacias inseridas no perímetro urbano na região Sul do Brasil. Estes estudos caracterizaram-se pela coleta dos resíduos veiculados pela água, utilizando estruturas instaladas diretamente em seções dos rios e córregos a jusante de sua passagem pelo centro urbano. Os resultados foram relacionados com os eventos de precipitação sendo coletadas as amostras após eventos chuvosos.

Brites e Gastaldini (2007), Salles *et al.* (2012) e Gonçalves (2013) estudaram diferentes bacias localizadas na cidade de Santa Maria (no estado de Rio Grande do Sul). As pesquisas se caracterizaram pelos aspectos da drenagem amostrada, devido a que os cursos principais de água monitorados estavam conformados por redes de macrodrenagem natural (rios e riachos), assim como a presença de usos de solos diferenciados nas bacias, em especial com predominância de solo urbano (em 3 das 4 bacias monitoradas) e uso de solo rural.

De acordo com os resultados das pesquisas de Brites e Gastaldini (2007), Salles *et al.* (2012) e Gonçalves (2013), o material mais abundante encontrado nas bacias Cancela, alto da Colina, Esperança e Tamandaí na cidade de Santa Maria (RS), correspondeu à classe orgânica, com valores de 72, 63, 67 e 86% respectivamente, constituídos basicamente por vegetação como galhos, folhas, raízes e cascas.

Nestas bacias, também os plásticos representaram o segundo lugar entre os resíduos mais encontrados nas pesquisas, constituídos em especial por garrafas PET e sacolas de lojas, seguidos de resíduos da construção civil, em especial composto por madeira processada, esta última segundo a classificação utilizada pelos estudos de Salles *et al.* (2012) e Gonçalves (2013). Já para o estudo feito nas bacias Cancela e Alto da Colina por Brites e Gastaldini (2007), os valores correspondentes a madeira processada foram incluídos no total dos valores correspondentes à matéria orgânica.

Outro estudo que chama atenção foi realizado por Gava e Finotti (2012) na microbacia do rio do Meio na cidade de Florianópolis (SC). A bacia que se encontra localizada também na região Sul do Brasil, apresentou predomínio de uso de solo urbano (68%) e no segundo lugar solo rural (32%). A pesquisa foi realizada no principal curso de água

da área de estudo, sendo este caracterizado pela presença de trechos em estado natural e trechos com modificações.

O objetivo da pesquisa feita por Gava e Finotti (2012), consistiu em analisar as principais particularidades que influenciam o advento dos resíduos sólidos na drenagem urbana; portanto, o estudo permitiu também quantificar e tipificar o tipo de resíduos que chega até ela. Os pesquisadores excluíram da massa total estudada aqueles resíduos compostos por matéria orgânica, como folhas e galhos, centrando-se basicamente naqueles de origem inorgânica, à exceção da madeira processada, classificada no estudo como Resíduos de Construção Civil (RCC).

Gava e Finotti (2012) encontraram que os resíduos com maior presença corresponderam aos resíduos associados à construção civil, com valores totais de 43% do total estudado porém; neste grupo encontrou-se classificada a madeira processada, que segundo os autores apresentou grande aporte na composição dos RCC.

A partir da análise, Gava e Finotti (2012) concluíram que o segundo maior aporte de resíduos no sistema de drenagem urbana na microbacia do rio do Meio corresponderam aos resíduos classificados como “outros” constituídos basicamente por roupas velhas, sapatos, panos, tocos de cigarros e poliestireno expandido (EPS)⁶ com valores correspondentes a 22%, seguidos dos plásticos com 18% do total de resíduos encontrados nos monitoramentos. A quantidade dos vidros também foi notável, com 10%.

Outros estudos também realizados no Brasil qualificaram e/ou quantificaram os resíduos que chegam aos sistemas clássicos de drenagem em bacias com predominância de uso de solo urbano entre eles os realizados por Neves e Tucci (2008a), Neves e Tucci (2011) e Barros *et al.*(2014).

No estudo, Neves e Tucci (2008a), na bacia Sub-bacia CB12 em Porto Alegre (RS) estimaram os resíduos sólidos que atingem o sistema de drenagem urbana, utilizando

⁶ O poliestireno expandido ou EPS, por suas siglas e inglês, é um plástico rígido conhecido no Brasil erroneamente pelo nome de “Isopor” marca da empresa que introduziu o produto no país.

para isso duas metodologias. A primeira, denominada pelos autores “método direto”, que consistiu na determinação das cargas dos resíduos sólidos que chegam até o sistema de drenagem por meio de medições dos seus volumes na saída na bacia, o que os autores definiram como carga medida. Os autores não incluíram dados de vegetação nem sedimentos.

No mesmo estudo, o “método indireto”, de acordo aos autores, foi utilizado para estimar a carga potencial dos resíduos que aflui à drenagem pluvial. Para isso, foram feitas medições das varrições diárias efetuadas a montante ou à entrada da rede de drenagem, junto aos dados da precipitação. Posteriormente, os autores realizaram um balanço de massa entre a carga medida e a carga potencial, o que contribuiu para a determinação da massa efetiva suscetível de atingir a rede de drenagem (NEVES e TUCCI, 2008a).

Dentre as principais conclusões no que tange à quantificação e qualificação, das 28 amostragens feitas, em oito meses pelo método direto, os resíduos que chegaram até o poço de bombas corresponderam a 81,77% de plásticos, incluindo garrafas PET, sacolas de supermercado, diferentes embalagens como de shampoo e margarina, entre outros. No segundo lugar, encontram-se tecidos e sapatos e no terceiro lugar EPS (NEVES e TUCCI, 2008a).

Nos resultados da quantificação feitos pelo método indireto, se estimou o plástico como o resíduo que ingressa no sistema de drenagem em maior quantidade, correspondente a 42,1%, seguido de papel com 39,1%, latas com 6,5% e vidros com 5,4%.

Neves e Tucci (2008a) concluíram no balanço de massa que a carga potencial (dados da varrição) à entrada do sistema de drenagem correspondeu a 980 kg e a carga medida a 288 kg. De acordo aos autores o total de resíduos que atingiu o poço da casa de bombas correspondeu a lixo que o serviço de limpeza urbana deixou de coletar correspondendo a 2,1% dos resíduos de varrição.

Como fato interessante, na pesquisa de Neves e Tucci (2008a) ressalta-se que a visibilidade de percentagens de resíduos como papéis que chegam ao poço da casa de bombas, em comparação com as medidas das varrições, atribui-se à degradação do

mesmo no sistema de drenagem. Os autores também estimam que provavelmente uma parcela de resíduos fica retida no sistema de drenagem, como o caso dos PET, até serem arrastados pela ocorrência de uma chuva forte, razão pela maior percentagem encontrado no poço da casa de bombas em comparação com os dados das varrições.

Neves e Tucci (2008a) observaram que a quantidade de resíduos aportados à rede de drenagem foi três vezes superior à quantidade dos resíduos que saem à jusante da bacia hidrográfica.

Posteriormente, Neves e Tucci (2011) aprofundaram na composição dos resíduos encontrados na mesma área de estudo (bacia Sub-bacia CB12 em Porto Alegre/RS), suscetíveis a contribuir para uma bacia de retenção que recebe o aporte da drenagem pluvial nessa bacia hidrográfica.

No estudo, Neves e Tucci (2011) fizeram caracterização dos resíduos sólidos da varrição dos logradouros que foram escolhidos pelos pesquisadores previamente, tendo em conta sua incidência na contribuição ao sistema de drenagem e foram analisadas suas massas em função da frequência do serviço de varrição.

Da mesma forma, foram feitas caracterizações dos resíduos sólidos advindos na drenagem pluvial no exutório, utilizando como critério de análise os valores médios de composição por campanha para a estação primavera - verão e os valores médios das jornadas outono - inverno, no intuito de identificar a existência ou não de sazonalidade.

Dentre os principais resultados, os autores Neves e Tucci (2011) concluíram que os resíduos das varrições apresentaram uma forte presença de resíduos de origem natural, como matéria orgânica incluindo restos de alimentos, vegetação e areias, que correspondeu a 77% do total amostrado. 23 % dos resíduos corresponderam em primeiro lugar a plásticos, seguidos de papéis, posteriormente tecidos, vidro e outros. Os materiais compostos de poliestireno expandido e alumínio não tiveram muita representatividade.

No que tange à composição das varrições, os autores encontraram uma diferença na composição média dos resíduos quando se realizam varrições com frequência diária em comparação com as varrições realizadas em dias alternados, chegando a 94% esta diferença. Para resíduo tipo PET, latas de alumínio e vidro, sua predominância na coleta é menor nas varrições com frequência diária, possivelmente pelo trabalho dos catadores.

Os autores concluíram que em comparação a composição física dos resíduos sólidos presentes na varrição foi de 40% de plásticos e na drenagem de 83%. Para os resíduos tipo PET, EPS e latas de alumínio, houve maior presença em especial após eventos de precipitação fortes. Já para resíduos como papéis, vidros e tecidos, na drenagem as quantidades encontradas foram bem inferiores em comparação com as amostragens das varrições (NEVES e TUCCI, 2011).

Outro estudo realizado no município de Sorocaba (São Paulo) por Barros *et al.* (2014) teve como objetivo obter a composição gravimétrica dos resíduos coletados pelo serviço de limpeza de água e esgoto da cidade. Para a realização do trabalho foram obtidas sete amostragens de diferentes regiões da cidade, utilizando dispositivos de sucção dos resíduos assim como os equipamentos de captura, instalados nas estruturas de drenagem.

Os resultados apontaram que são mais de 5.300 kg diários de resíduos descartados nas ruas erroneamente pela população, que pode enfrentar os reflexos desse comportamento em eventos de enchente e na poluição do rio que corta a cidade (BARROS *et al.*, 2014).

Dentre os resultados também se verificou que a maior fração de resíduos correspondeu a terra e areia que, em estado seco, representou o 57% do total dos resíduos coletados, resíduos da construção civil (tijolos, pedaços de telha, concreto e argamassa) com 10,2%, pedras 5,9%, plásticos 1,3% e matéria orgânica 0,5% (BARROS *et al.*, 2014).

Nos estudos abordados a nível nacional, se caracterizaram por classificar os resíduos coletados nas estruturas de drenagem de acordo a sua composição. Foram observadas fortes similaridades na composição gravimétrica, onde a maior fração correspondeu a

matéria orgânica e vegetação, seguida de plásticos e RCC entre outros, como mostrado na figura 8, que apresenta a composição média dos resíduos.

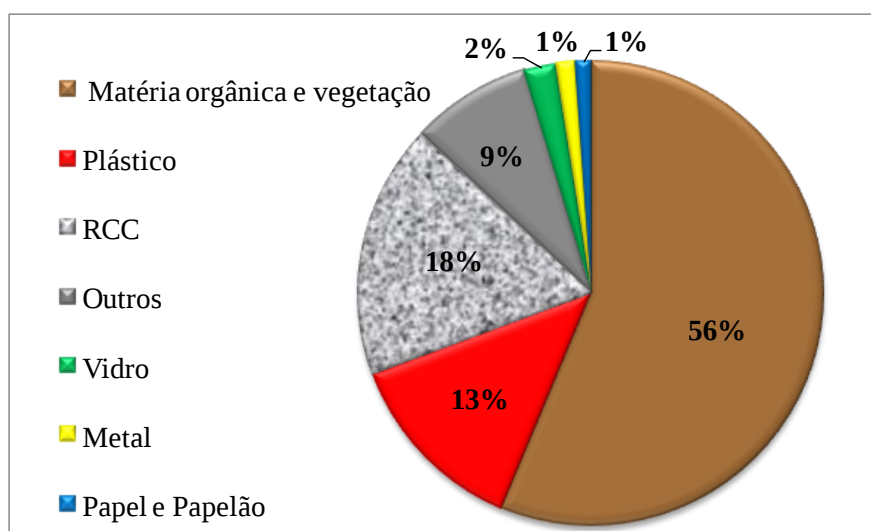


Figura 8- Composição gravimétrica média das pesquisas nacionais
Fonte: Brites e Gastaldini (2007), Silva *et al.* (2011), Gava e Finotti (2012), Gonçalves (2013) e Barros *et al.* (2014) (Adaptados)

Na tabela 6 apresenta-se uma síntese dos principais trabalhos abordados nesta pesquisa que relacionam a presença de resíduos sólidos nos sistemas de macro e microdrenagem.

Tabela 6- Síntese das pesquisas sobre resíduos sólidos na drenagem

Nome da Bacia - Local	Assunto Tratado.	Referência
Coburg, Melbourne, Austrália. Área: 1,5 km ² , 25% Comercial, 65% Residencial, 5% Industrial e 5% parques	Monitoramento realizado por 1 ano, durante os eventos de precipitação. O objetivo foi identificar os tipos de poluentes e resíduos que chegam até os equipamentos de microdrenagem (Bocas de lobo), a variação destes em função do evento pluviométrico e fatores que influenciam as quantidades e tipos de resíduos. Os resultados indicaram que a carga de lavagem se encontra relacionada ao tipo de uso de solo e verificou-se que a dinâmica de transporte de RS, não é diretamente relacionada a quantidade aportada na bacia.	Allisson <i>et al.</i> , 1998
Sorocaba, São Paulo /SP, Área: 456 km ² , 100% Urbana	Estudo realizado com o objetivo de quantificar a facção de resíduos depositados na microdrenagem, especificamente nos condutos de água pluviais do município de Sorocaba/SP, considerando as diferentes regiões geográficas da cidade. Com os resultados verificou-se que as maiores frações de resíduos corresponderam a terra e areia, seguidos de resíduos da construção civil (tijolos, pedras, pedaços de telha, concreto e argamassa) e embalagens de plástico. Também se verificou que os resíduos encontrados se associam à inadequada disposição por parte da população.	Barros <i>et al.</i> , 2014
Santa Maria/ RS. Bacia Cancela Área: 4,95 km ² , 56% Urbana 44% Rural Bacia Alto da Colina Área: 3,34 km ² 22% Urbana 70,75 % Rural	O objetivo foi avaliar as cargas de RS e de poluentes na água da rede de macrodrenagem urbana de duas bacias hidrográficas (Cancela e Alto da Colina) localizadas no município de Santa Maria/RS. Os resíduos coletados a traves de redes de aço instaladas nos trechos dos rios amostrados foram quantificados e os resultados indicaram que a bacia hidrográfica Cancela apresentou carga difusa de resíduos maior que a bacia Alto da Colina. As bacias também apresentaram processos de degradação elevado devido às atividades antrópicas.	Brites e Gastaldini, 2007

Continuação tabela 6.

Nome da Bacia - Local	Assunto Tratado.	Referência
Rio do Meio, Florianópolis/SC. Área: 2,44 km ² 68% Urbanizada 38% Rural	Esse trabalho teve como objetivo analisar as principais características que influenciam o surgimento dos RS na rede de macrodrenagem da Bacia do Rio do Meio, Florianópolis/SC. Foi implantada uma estrutura de monitoramento em uma seção do rio que serviu para coletar os resíduos veiculados pela água permitindo quantificar e qualificá-los. Os resultados indicaram que do total de RS, a maior fração esta associada à RCC, seguida de outros, plásticos e vidro.	Gava e Finotti, 2012
Cancela-Tamandaí, Santa Maria/RS, Área: 2,67 km ² , 35% Urbana 65% Rural	Foi instalada uma estrutura para coleta de resíduos sólidos em um trecho da Bacia Hidrográfica Cancela – Tamandaí. A estrutura foi desenvolvida e adaptada às circunstâncias e ao local. Nesse trabalho foram quantificados e qualificados os resíduos sólidos presentes na drenagem urbana e relacionados com os dados de precipitação pluviométrica, devido a que a retenção dos R.S na estrutura se realizou nos eventos de precipitação. Os resultados apontaram a maior fração de RS encontrados a matéria orgânica, seguidos de plásticos e RCC.	Gonçalves, 2013
Cape Town- África do Sul Área: 1,92 km ² 100% urbana	Quantificação e tipificação de RS em 9 bacias urbanas com uso de solo diferenciado, perfis socioeconômicos e densidade demográfica, utilizando equipamentos coletores de resíduos nas bocas de lobo. Os resultados encontrados relacionaram o serviço de limpeza urbana com a presença de RS na drenagem em função de seu nível de atendimento, do nível socioeconômico e uso de solo.	Marais <i>et al.</i> , 2004

Continuação tabela 6.

Nome da Bacia/ - Local	Assunto Tratado.	Referência
Sub-bacia CB12, Porto Alegre/RS. Área: 1,92 km ² , 100% Urbana	Esta pesquisa teve como objetivo estimar os RS que chegam ao sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica urbana mediante uso de dois métodos. O método “direto” que considerou a medição de RS na saída da drenagem e o método “indireto” onde se quantificaram os RS por meio das informações de varrição de ruas na bacia para estimar a carga potencial. Os resultados do método “direto” indicaram que a maior fração de RS correspondeu a resíduos plásticos, outros e EPS. Já para o método “indireto” os resíduos com maior presença corresponderam ao plástico, seguidos de papel, latas e vidro.	Neves e Tucci, 2008a
Esperança ou Escola Urbana, Santa Maria/RS. Área: 0,57 km ² , 100% Urbana	O objetivo do estudo foi quantificar e qualificar os resíduos sólidos transportados até o sistema de macrodrenagem em uma sub-bacia hidrográfica e relacioná-los aos dados de precipitação. Foi realizada uma análise gravimétrica dos RSU capturados onde se demonstrou que a maior parte estava constituída por matéria orgânica seguida de matéria inorgânica, e que 14% do volume de resíduos de origem residual eram compostos de plásticos. Os resultados observados mostraram grande interferência humana na bacia e os riscos ambientais para o córrego Esperança.	Salles <i>et al.</i> , 2012

A revisão da literatura também permitiu identificar as variáveis utilizadas em cada um dos estudos, assim como aquelas que, de acordo com os pesquisadores, não foram avaliadas, mas que apresentaram alguma influência nos trabalhos.

Dentre as variáveis identificadas nos textos, encontram-se em primeiro lugar aquelas relacionadas com as características físicas da bacia e ao uso e ocupação do solo, o que permitiu estratificar a geração (DANGI *et al.*, 2011, LI *et al.*, 2011) e presença de resíduos sólidos na drenagem de acordo a tipologia do uso (MARAIS e ARMITAGE, 2004; GAVA e FINOTTI, 2012 e BARROS *et al.*, 2014).

A densidade demográfica foi também uma das variáveis que os autores identificaram, de forma positiva ou negativa com influência na geração de resíduos sólidos (DANGI *et al.*, 2011, DIAS *et al.*, 2012, PINTO *et al.*, 2012) e autores que reafirmaram a necessidade de aprofundamento no estudo desta variável (MARAIS e ARMITAGE, 2004).

No grupo de pesquisa definido como nível de serviço, foram selecionadas as variáveis correspondentes ao serviço de limpeza urbana. Os autores pra este item ressaltaram em especial o serviço de varrição, coleta, tipologias de disposição e presença de programas de educação à população sobre o manejo adequado dos resíduos sólidos nas areas de estudo (MARAIS e ARMITAGE, 2004, NEVES e TUCCI, 2011, DIAS *et al.*, 2012 , GAVA e FINOTTI, 2012, PINTO *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2012).

No que diz respeito ao nível de serviço da drenagem pluvial, esta foi selecionada como variável interveniente apesar de não aparecer nos primeiros lugares de importância nas pesquisas do levantamento bibliográfico em geral, mas é citada com nível médio de relevância nas pesquisas sobre resíduos sólidos na drenagem urbana (MARAIS e ARMITAGE, 2004, PINTO *et al.*, 2012) e também como variável incluída pelos autores nas conclusões para estudo em futuras pesquisas (MARAIS e ARMITAGE, 2004, BRITES e GASTALDINI, 2007, PINTO *et al.*, 2012, BARROS *et al.*, 2014).

Referente às outras variáveis não classificadas, mas que alguns autores indicam que podem representar alto grau de influência na geração de resíduos sólidos em bacias urbanas citaram o nível de renda da população e o tipo de habitação e propriedade, fazendo referência neste último ao tipo de assentamento urbano.

4.4 Caracterização do município de Belo Horizonte

A cidade de Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais, está localizada na região Sudeste do Brasil, caracterizada pela presença de um relevo acidentado, a cidade encontra-se a uma altitude média de 900 m. O clima predominante é classificado como tropical de altitude, apresentando verões moderadamente quentes e úmidos e invernos com baixas temperaturas e secos, assim como média anual de chuva de 1400 mm (PMBH, 2007).

O município de Belo Horizonte possui uma área de 331,401 km², com população correspondente a 2.502.557⁷ habitantes sua densidade demográfica de 7.167 hab./km². O município limita com os municípios de Contagem, Ibirité, Brumadinho, Nova Lima, Sabará, Santa Luzia, Vespasiano e Ribeirão das Neves. Dentre seu perímetro encontram-se inseridas as macrobacias hidrográficas do Ribeirão Arrudas, Isidoro, Onça e Velhas (PMBH; SMOBI; SUDECAP, 2015a).

Belo Horizonte apresenta uma divisão territorial conformada por 9 regionais administrativas (Figura 9), criadas com o objetivo principal de descentralização das funções administrativas e o favorecimento do diálogo entre a sociedade de cada localidade com a direção pública municipal (BELO HORIZONTE, 1983).

⁷Informação extraída da estimativa populacional para os municípios realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano 2015, http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa_dou.shtm.

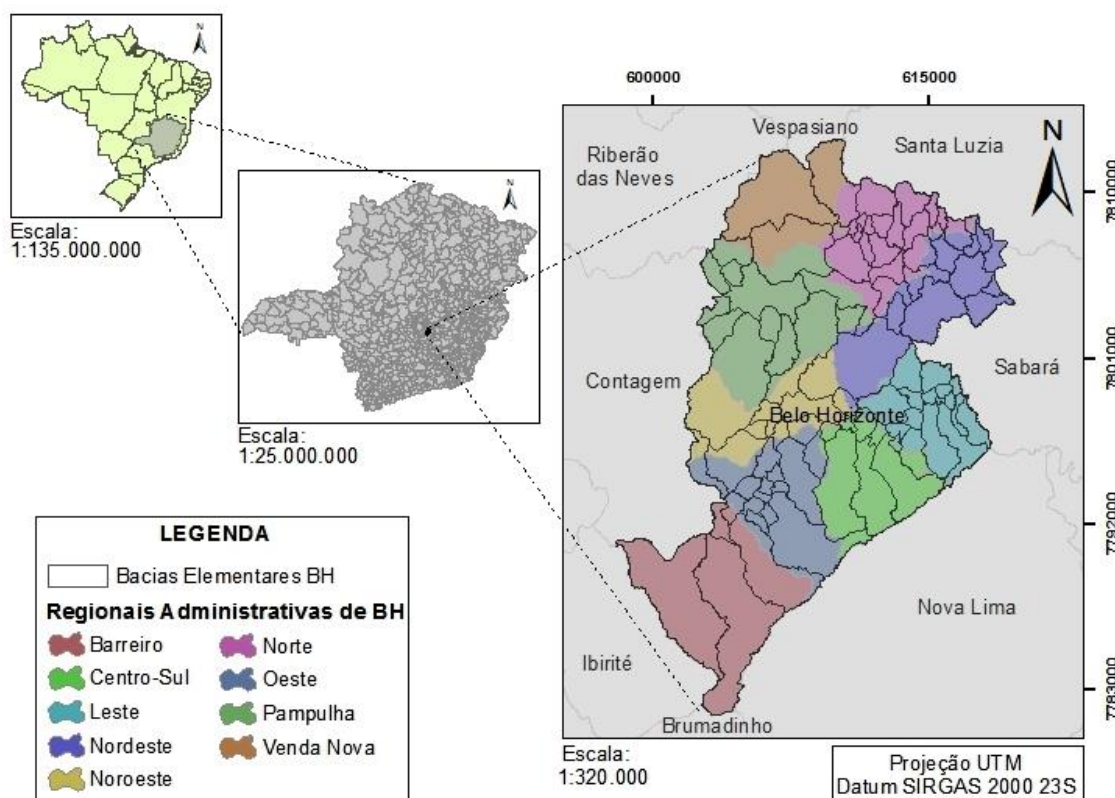


Figura 9- Regionais administrativas de Belo Horizonte

As primeiras regionais administrativas criadas na cidade corresponderam às regionais Barreiro e Venda Nova no ano de 1973, e as outras 7 foram estabelecidas por decreto municipal no ano de 1983⁸. Para o ano 1985,⁹ foram fixadas áreas de jurisdição para cada uma das regionais administrativas e no ano de 2011,¹⁰ foram estabelecidos novos limites geográficos ainda vigentes para cada uma destas regionais.

Belo Horizonte também apresenta outras unidades de planejamento, denominadas bacias elementares, estas foram estabelecidas na primeira etapa do Plano Diretor de Drenagem (PDD) da cidade entre os anos de 1999 e 2001 seguindo a diretrizes estabelecidas na Política Municipal de Saneamento¹¹ que indicou que o conceito de

⁸Decreto Nº 4523, de 12 de setembro de 1983 que dispõe sobre a estrutura administrativa e o funcionamento de órgãos da administração direta e dá outras providências.

⁹Lei nº 4158 de 16 de julho de 1985. Fixa área de jurisdição das administrações regionais criadas pelo decreto municipal nº 4523, de 12 de setembro de 1983, define sua estrutura administrativa, suas atribuições, cria cargos e contem outras providências. Diário Oficial do Município de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 16/jul/1985.

¹⁰Lei nº 10.231, de 19 de julho de 2011. Dispõe sobre a circunscrição das regionais administrativas do município. Diário Oficial do Município de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 19/jul/2011.

¹¹ A lei 8260 do ano 2001, Artigo 1, seção III, inciso XIII.

bacia hidrográfica deveria ser adotada como unidade de planejamento nas ações do serviço de saneamento.

4.5 A drenagem no município de Belo Horizonte

A concepção urbanística de Belo Horizonte baseou-se nas idéias racionalistas da época, que favoreciam a regularidade geométrica do traçado da cidade e o domínio da natureza pelo homem, que mesmo considerando os elementos geográficos e naturais, estes foram encaixados em uma planta rígida subvalorizando a paisagem incluindo a rede hidrográfica (FJP, 1997).

Com o passar dos anos em Belo Horizonte, os ribeirões e córregos começaram a ser canalizados para favorecer o traçado das vias de tráfego permitindo melhor mobilidade na cidade, mas que em compensação relegaram novamente a hidrografia, favorecendo também a degradação ambiental do sistema hídrico que passou por descaso a estar ausente da percepção da paisagem urbana.

Em dezembro 1969 como produto da Lei N° 1.747, foi criada a Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP), autarquia responsável pela elaboração, manutenção, execução e supervisão das obras civis da cidade incluindo as relativas ao sistema de drenagem pluvial urbana (PMBH e SMOBI, 2011).

No intuito de recuperar e melhorar a qualidade do sistema hídrico da cidade, a SUDECAP no ano de 1999 iniciou o processo de implementação do Plano Diretor de Drenagem (PDD) como instrumento de planejamento e manejo das águas pluviais na área urbana (CHAMPS *et al.*, 2001).

O PDD de Belo Horizonte foi executado em duas fases, a primeira, entre os anos 1999 e 2001, onde foi realizado um levantamento cadastral dos componentes dos sistemas de microdrenagem e macrodrenagem da cidade, assim como o estabelecimento da divisão as unidades de planejamento por bacias hidrografias em bacias elementares e sub-bacias (ABCP, 2010).

As bacias elementares estabelecidas na cidade corresponderam em total a 94 e foram delimitadas utilizando modelagem hidrológica e os critérios que respeitaram as características físicas, os componentes naturais e fluxos de água. Adicionalmente, se

estabeleceram 256 sub-bacias como subdivisões das bacias elementares (CHAMPS *et al.*, 2001).

Na segunda fase do PDD concluída no ano de 2011, foram realizadas ações de monitoramento hidrológico e da qualidade das águas das bacias, modelagem matemática hidrológica e hidráulica do sistema de macrodrenagem que permitiram o desenvolvimento e implementação do sistema de alerta contra inundações e ampliação do SIG de drenagem (ABCP, 2010).

Como resultado do PDD encontra-se também o programa DRENURBS (Programa de Recuperação Ambiental e Saneamento dos Fundos de Vale e dos Córregos em Leito Natural de Belo Horizonte) que contempla novos modelos de gestão das águas na premissa da valorização dos elementos hídricos e a mitigação do impacto no ciclo hidrológico (PMBH, SMOBI e SUDECAP, 2015).

Dentre as principais ações do DRENURBS se encontram a despoluição dos cursos de água, a preservação das condições naturais dos córregos, o tratamento de fundos de vale nas bacias priorizadas para intervenção de acordo ao grau de impacto e das consequências deste para a cidade, incluindo as ocasionadas por inundações.

Nesse sentido, o DRENURBS contemplou a construção de medidas de mitigação como bacias de retenção de cheias para o amortecimento dos impactos por inundações na cidade. Dentre os ganhos desta iniciativa da SUDECAP se encontra a recuperação da qualidade das águas dos corpos hídricos localizados na cidade, nas áreas intervindas pelo programa mediante a implantação de obras de drenagem, esgotamento sanitário, gerenciamento dos resíduos sólidos e ações de educação ambiental.

A junção de varias ações do saneamento básico realizados no programa DRENURBS evidencia a necessidade do trabalho em conjunto aos componentes da esfera do saneamento, o que resulta em cumprimento dos objetivos de recuperação e incorporação dos córregos à paisagem urbana, criando a sua vez áreas de lazer à população, e melhoria na qualidade ambiental de forma geral.

Embora alguns arranjos realizados na recuperação das bacias intervindas no DRENURBS, percebe-se que as ações de limpeza que envolve a drenagem pluvial, são

realizadas prioritariamente de modo corretivo evidenciando ausência de planejamento integrado entre as ações preventivas e o bom funcionamento do sistema, possivelmente associado à disponibilidade de recursos para execução das atividades no tempo programado.

4.6 Gerenciamento dos resíduos sólidos em Belo Horizonte.

Em Belo Horizonte as atividades incluídas dentre o serviço de limpeza urbana como a coleta, tratamento e disposição adequada dos resíduos sólidos, são consideradas parte do saneamento da cidade de acordo às leis municipais 7.165/1996¹² e Nº 8.137/2000¹³ sendo estas responsabilidades da SMSU (Secretaria Municipal de Serviços Urbanos).

No entanto, a SLU (Superintendência de Serviços Públicos), autarquia municipal vinculada à SMSU que foi criada no ano de 1973, é a responsável da elaboração do planejamento e dos programas e atividades em torno da limpeza pública.

As atividades do serviço de limpeza urbana em Belo Horizonte são executadas por regionais administrativas, para isso, a função é realizada de forma compartilhada entre a SLU e as Gerencias Regionais Limpeza Urbana – GERLU, estas últimas circunscrições presentes em cada uma das nove regionais político-administrativas (PMBH;SMOBI; SUDECAP, 2015). Estas atividades são anualmente registras pela SLU em relatórios que contém as informações da execução de cada uma das atividades componentes da limpeza pública no município.

Na cidade as ações do serviço de limpeza municipal de acordo aos relatórios emitidos pela SLU, se encontram agrupadas em duas grandes classificações planejadas para atender as necessidades da cobertura do serviço. A primeira corresponde ao serviço de coleta de RSU e a segunda o serviço de limpeza de vias e outros logradouros.

Enquanto a classificação dos resíduos usada pela SLU, esta segue a estabelecida pela lei federal brasileira nº 12.305/10. Nesse sentido, nos relatórios anuais realizados pela SLU são registradas as quantidades anuais coletadas para cada classe, entre elas os resíduos

¹²LEI Nº 7.165, DE 27 DE AGOSTO DE 1996, mediante a qual se Institui o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte.

¹³ LEI Nº 8.137/2000 Altera as leis nºs 7.165 e 7.166, ambas de 27 de agosto de 1996, e dá outras providências.

sólidos domiciliares (RDO), resíduos de poda (RPO), resíduos sólidos públicos (RPU), resíduos sólidos de saúde (RSS) e de construção civil (RCC). Existe também denominação para os resíduos potencialmente recicláveis como papel, metal, plástico e vidro (PMPV).

4.6.1 Serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos (RSU).

O serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos em Belo Horizonte inclui a coleta dos resíduos sólidos gerados na cidade e também o transporte dos mesmos para sua disposição final.

Em Belo Horizonte a coleta de RSU encontra-se conformada pela coleta domiciliar que abrange áreas de Urbanização formal e em vilas e favelas, a coleta seletiva de materiais recicláveis e orgânicos, a coleta dos resíduos de saúde dos estabelecimentos que apresentam Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS) a coleta de resíduos de disposição clandestina e a coleta em caçambas estacionárias instaladas em locais de difícil acesso, em vilas e favelas e nas unidades de recebimento de pequenos volumes- URPV (PMBH, SMOBI e SUDECAP, 2015).

De acordo com as informações registradas nos relatórios de serviço da SLU a partir do ano 2010 até o publicado no ano 2014, a porcentagem de atendimento de coleta domiciliar porta a porta, do serviço regular, manteve para os dois primeiros anos uma porcentagem de atendimento correspondente a 95% e nos outros três anos seguintes de 96% (PMBH e SLU, 2010-2014).

Os dados dos relatórios indicam que em média foram deixados sem atendimento do serviço 112.048 pessoas cada ano o que significa que possivelmente parte desta população não atendida dispôs inadequadamente seus resíduos gerados ou utilizaram outras formas de disposição a estes (Figura 10).

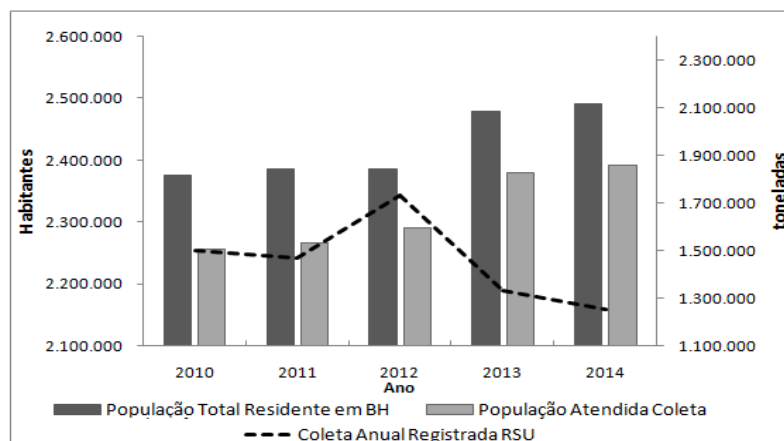


Figura 10- Atendimento de coleta em Belo Horizonte

Fonte: PMBH e SLU (2010 a 2014) (Adaptado)

A coleta domiciliar na área formal é realizada por distritos de coleta que correspondem a áreas definidas por regionais, conformados por certo número de quadras, escolhidas estrategicamente para a realização do roteiro diário de ruas percorridas por caminhão.

Belo Horizonte apresenta 246 roteiros dos quais 36 são atendidos diariamente e 210 atendidos 3 vezes por semana. Também existem horários diurno e noturnos, este último realizado nas áreas com predominância comercial e com alto tráfego veicular, (área central da cidade, e as áreas comerciais de venda nova, da regional oeste e centro sul) PMBH (2016).

Nas áreas de assentamento informal (vilas e aglomerados urbanos) a coleta domiciliar é realizada por caminhões compactadores quando há existência de vias que permitem o acesso e por agentes comunitários de limpeza urbana (ACLU) nas áreas de difícil acesso, utiliza-se como equipamentos carrinhos de mão PMBH (2016).

Nesse sentido percebe o esforço da SLU em promover o desenvolvimento da cobertura do serviço de coleta em toda a região metropolitana, atendendo até mesmo os locais de mais difícil acesso, e assentamentos informais.

O grande ganho do ACLU consistiu desde seu início, como projeto piloto em 2004, na inserção social de habitantes residentes em vilas e favelas, para a realização de coleta domiciliar, limpeza de vias, começando em uma vila, e expandindo-se anualmente, alcançando 23 vilas mais no decorrer do tempo até o ano de 2014 (PMBH, SMOBI e SUDECAP, 2015a).

Enquanto a ampliação do serviço de varrição as metas atingidas no programa ACLU, atingiram 161 km de vias varridas, distribuídas em 23 vilas. Dessa forma a cobertura de varrição nas vilas para o ano de 2014 alcançou 90% de atendimento (PMBH, SMOBI e SUDECAP, 2015a).

De modo geral, a implantação do ACLU entre 2008 a 2013 refletiu-se na melhoria da qualidade de serviço de limpeza urbana nas comunidades contempladas (PMBH, SMOBI e SUDECAP, 2015a).

Em relação a coleta seletiva realizada pela SLU, atualmente a cidade é beneficiada por duas modalidades, a modalidade porta-a-porta abrange 30 bairros localizados em 6 regionais consideradas de maior geração de resíduos recicláveis da cidade, e a modalidade ponto-a-ponto contemplando a deposição dos materiais classificados pela população em locais de entrega voluntária (LEV¹⁴) com cobertura em todas as regionais, contando para o ano de 2013, com 93 LEVs em Belo Horizonte e nestes 291 equipamentos (PMBH, SMOBI e SUDECAP, 2015a).

O município também conta com um sistema de recolhimento de resíduos de saúde –RSS para os estabelecimentos que apresentam plano de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde – PGRSS, e para as que não apresentam o PGRSS. Os RSS são coletados de forma diferenciada pela SLU, devido a que estes se enquadram na classificação de resíduos perigosos (PMBH, SMOBI e SUDECAP, 2015a).

No município existe também a reciclagem e destinação dos resíduos de construção civil- RCC, que contempla o recebimento dos RCC provindos do município, para isso são utilizados as unidades de recebimento de pequenos volumes- URPV¹⁵, e estações de reciclagem de entulho- ERE (PMBH, SMOBI e SUDECAP, 2015a).

Para os resíduos de disposição clandestina a SLU apresenta o programa de coleta manual e mecânica de forma de rodízio semanal, dispondo de 10 seções operacionais

¹⁴ Locais de Entrega Voluntaria (LEV) são contêineres com as cores padrões dos materiais recicláveis estabelecidos conforme Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) nº 257 de 25 de abril de 2001 e implementados pela SLU para a disposição voluntaria por parte da população dos materiais recicláveis classificados. Estes equipamentos estão instalados em diferentes áreas da cidade de Belo Horizonte.

¹⁵ Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes (URPV) são locais de recepção de resíduos de construção civil, distribuídas nas 9 regionais administrativas, que foram instaladas pela SLU como suporte a coleta destes resíduos. Ao ano 2013, a cidade apresentava 32 destas unidades (PBH, 2014).

que efetuam o serviço em toda região metropolitana. Nesses serviços são contemplados as limpezas de lotes vagos, áreas degradadas, logradouros públicos, córregos, entre outros, segundo a necessidade ou solicitação (PMBH, SMOBI e SUDECAP, 2015a).

4.6.2 Serviço de limpeza urbana

O serviço de limpeza urbana corresponde à limpeza de vias e logradouros públicos, que inclui as atividades de varrição das ruas, roçada e capina das áreas próximas às vias e lotes vagos, limpeza de bocas de lobo, limpeza de córregos e de áreas públicas, recolhimento de animais mortos assim como os serviços multitarefa, estas últimas correspondem a aquelas atividades efetuadas como reforço da limpeza de vias e outros logradouros.

O serviço de varrição na cidade é realizado nas sarjetas, calçadas e áreas públicas, contando para o ano de 2014 com um atendimento de 95% de vias urbanas pavimentadas PMBH (2014).

A frequência da execução do serviço de varrição é planejada de acordo as características de ocupação de cada região e logradouros, do tipo de arborização, da intensidade do trânsito veicular e de pedestres. O serviço de varrição é realizado na cidade de segunda feira a domingo, apresentando frequências de uma, duas ou três vezes por semana em dias alternados, em horários diurnos e noturnos. Em alguns locais, estas frequências podem ocorrer com repasse que significa varrição mais de uma vez ao dia nos mesmos locais (PMBH, 2014).

A limpeza das bocas de lobo, realizada pela SLU, consiste na remoção dos resíduos acumulados ao interior da caixa coletora e não inclui as tubulações das galerias, que são de responsabilidade da SUDECAP. A limpeza das bocas de lobo pode ser realizada manual ou mecanicamente, com uma periodicidade de limpeza aproximadamente 6 vezes ao ano por unidade. Em locais de alto fluxo de pessoas e veículos, estes equipamentos são limpos até 3 vezes na semana (PMBH, 2012).

Enquanto a limpeza de córregos da cidade, a SLU menciona que são limpos aproximadamente três vezes no ano, realizando a limpeza da margem do leito dos córregos, onde são removidos resíduos como entulho, lama, lixo e mato (PMBH, 2012).

Em relação à limpeza das calhas dos córregos, não foram encontradas informações que atribuem a responsabilidade a um determinado órgão, no entanto, é realizada pela SLU, somente quando é solicitado via contrato.

O serviço multitarefa também realizado pela SLU contempla atividades como reforço da limpeza de vias e outros logradouros, incluindo a coleta, o transporte e a destinação final dos resíduos resultantes, sendo executado quando existe uma solicitação da cidadania e/ou quando o órgão encarregado evidencia a necessidade da aplicação do serviço em determinados locais (PMBH, 2015).

Dentre outras atividades estabelecidas pela SLU do serviço multitarefa são contempladas limpeza de bocas de lobo, roçada e capinada, limpeza de canalets, varrição.

A importância do serviço multitarefa sustenta-se no auxílio que órgão de limpeza urbana provê à redução dos resíduos dispostos em locais inadequados ou gerados por situações eventuais e/ou extraordinárias, minimizando assim o potencial de resíduos e impactos de sua disposição indevida.

4.6.3 Destinação e tratamento dos resíduos sólidos de Belo Horizonte

No que se refere à disposição dos resíduos sólidos na cidade de Belo Horizonte, esta é feita dependendo do tipo de resíduos e da localização da coleta de acordo as regionais administrativas.

Em Belo Horizonte, o Plano Municipal de Saneamento (PMS) 2012/2015, menciona que da destinação total de resíduos sólidos no ano 2013, a maior fração correspondente a 95,74% teve como destinação o aterramento e somente 4,26% corresponderam à reciclagem.

Referente à aterragem de RPU e dos RDO, na cidade esta função até o ano de 2007, era realizada na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte – (CTRS) localizada na região administrativa Noroeste, sobre a autopista BR-040, razão pela que é mais conhecida como CTRS/BR-040. O fechamento do aterro para esta disposição foi devido ao declínio de sua vida útil (PMBH, SMOBI e SUDECAP, 2015).

A CTRS/BR-040 continuou com a função de aterragem de resíduos sólidos de saúde (RSS) numa célula ambientalmente acondicionada para resíduos deste tipo. Também continuou recebendo os RPO e os resíduos orgânicos provenientes da coleta seletiva para processamento de compostagem (PMBH, SMOBI e SUDECAP, 2015).

A CTRS/BR-040 também recebe os RCC com potencial de beneficiamento provenientes dos estabelecimentos em obras e das Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes (URPV)¹⁶ para seu posterior processamento e conversão em agregados reciclados para uso na pavimentação e armazena pneus, que são posteriormente entregues para a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP) (PMBH, SMOBI e SUDECAP, 2015).

No ano 2007 a CTRS/Macaúbas localizada no município de Sabará foi definida como nova central de tratamento de RPU e RDO para aterragem. Já os RCC com baixo potencial de beneficiamento ou não reciclados, desde o primeiro semestre do ano 2012 são dispostos no aterro de inertes Maquiné localizado no município de Santa Luzia (PMBH, SMOBI e SUDECAP, 2015).

Referindo-se aos resíduos PMPV, provenientes da coleta seletiva porta a porta e dos provenientes dos Locais de Entrega Voluntária (LEV) tem como destino final os galpões das cooperativas e associações de catadores de acordo a lei orgânica de Belo Horizonte que estabeleceu que preferencialmente ações como a coleta e comercialização de resíduos recicláveis deveriam ser feitas por cooperativas de trabalho¹⁷.

A SLU também desenvolve o programa de mobilização social, este consiste em capacitação e sensibilização da população em torno da limpeza urbana, como estimular hábitos e forma de gerenciar os resíduos, formas de classificação e separação dos resíduos, dos locais adequados de disposição, bem como horários de coleta, projetos educação ambiental nas escolas, e dessa forma promover a ampliação dos agentes multiplicadores das campanhas. Assim no ano de 2013 foram executadas 4308 ações de mobilização pelo programa (PMBH, SMOBI e SUDECAP, 2015a).

¹⁷BRASIL. Lei nº 0, de 21 de março de 1990. Lei orgânica do município de Belo Horizonte, art 150, inciso VII.

Nota-se que a SLU empenha-se para atender a necessidade do município, no que diz respeito a serviços de limpeza urbana. Os avanços relatados contribuem vigorosamente para a manutenção da qualidade de vida da população, devido a que a prestação destes serviços reflete na questão de saúde pública, no sentido da redução da proliferação vetores, agentes de transmissão de doenças, bem como auxiliam fortemente na manutenção geral da qualidade ambiental.

5 PROPOSIÇÃO DO MODELO

A revisão da literatura permitiu tomar conhecimento de técnicas e modelos relativos à geração de resíduos sólidos e da relação destes com o sistema de drenagem pluvial em bacias hidrográficas urbanizadas. Esta etapa do trabalho contribuiu ao conhecimento dos fatores mais relevantes para a quantificação dos resíduos sólidos afluentes aos equipamentos de microdrenagem, especificamente as bocas de lobo. Neste contexto, foi possível identificar as variáveis que interferem no processo.

5.1 *Considerações iniciais e descrição do modelo*

O modelo para a quantificação de resíduos sólidos afluentes ao sistema de microdrenagem desenvolvido, baseou-se nas metodologias de predição que levam em conta as características regionais e locais como área da bacia, a densidade demográfica, o fator de geração de resíduos sólidos entre outros aspectos, seguindo a linha de análise mostrada nos estudos feitos Neves e Tucci, (2008a), Armitage (2007), Salles *et al.* (2011) e Barros *et al.* (2014).

Ressalta-se que no modelo proposto, para a determinação do potencial de resíduos que impactam a drenagem urbana, considera-se a geração da massa de resíduos e a possível quantidade que pode depositar-se nos equipamentos de drenagem, mas o modelo não considerou a dinâmica do transporte, ou seja, não incluiu a variável precipitação.

Para análise dos impactos ocorrentes na drenagem pluvial, a unidade de estudo utilizada correspondeu à delimitação por bacias hidrográficas, estabelecidas como unidades de planejamento no plano diretor de drenagem (PDD) de Belo Horizonte e à política de saneamento do município.

O modelo desenvolvido divide-se em duas análises, a primeira contempla o serviço de coleta de resíduos sólidos e a segunda ao serviço de varrição das ruas. Para isso, as análises foram conformadas por três etapas, denominadas consecutivamente, entrada de dados (etapa1), quantificação dos resíduos gerados na área de estudo (etapa 2) e avaliação dos impactos potenciais na drenagem (etapa 3).

A primeira etapa consiste na definição das características físicas e populacionais da área de estudo. Também trata sobre o nível de cobertura dos serviços de limpeza analisados e se estabelece os coeficientes de geração de resíduos para cada um deles, de acordo a estudos regionais e informação local.

A segunda etapa consiste na quantificação dos resíduos produzidos na área de estudo, coletados pelo serviço de coleta e os coletados pelo serviço de varrição, com base no nível de cobertura e características da bacia. Também na segunda etapa é realizada a segregação dos resíduos em função do nível de atendimento da limpeza urbana. Destes, a fração gerada na área sem atendimento deve ser considerada como a massa potencial a afluir ao sistema de drenagem urbano.

Na terceira etapa utilizam-se as informações das estruturas de drenagem existentes na área de estudo, o potencial de RS gerados pelas áreas não atendidas e procede-se à averiguação da quantidade e o volume de resíduos sobre os equipamentos de drenagem.

A proposta objetiva-se em um modelo preditivo de quantificação de RSU potencial a afluir ao sistema de macro e microdrenagem, especificamente nas bocas de lobo. O modelo baseia-se na geração dos RSU, fundamentado no nível de atendimento do serviço de limpeza urbana e na distribuição do potencial de RSU sobre as estruturas de drenagem de acordo com seu dimensionamento.

A Figura 11 apresenta de forma esquemática o fluxograma do modelo contendo a sequência das etapas que o conformam.

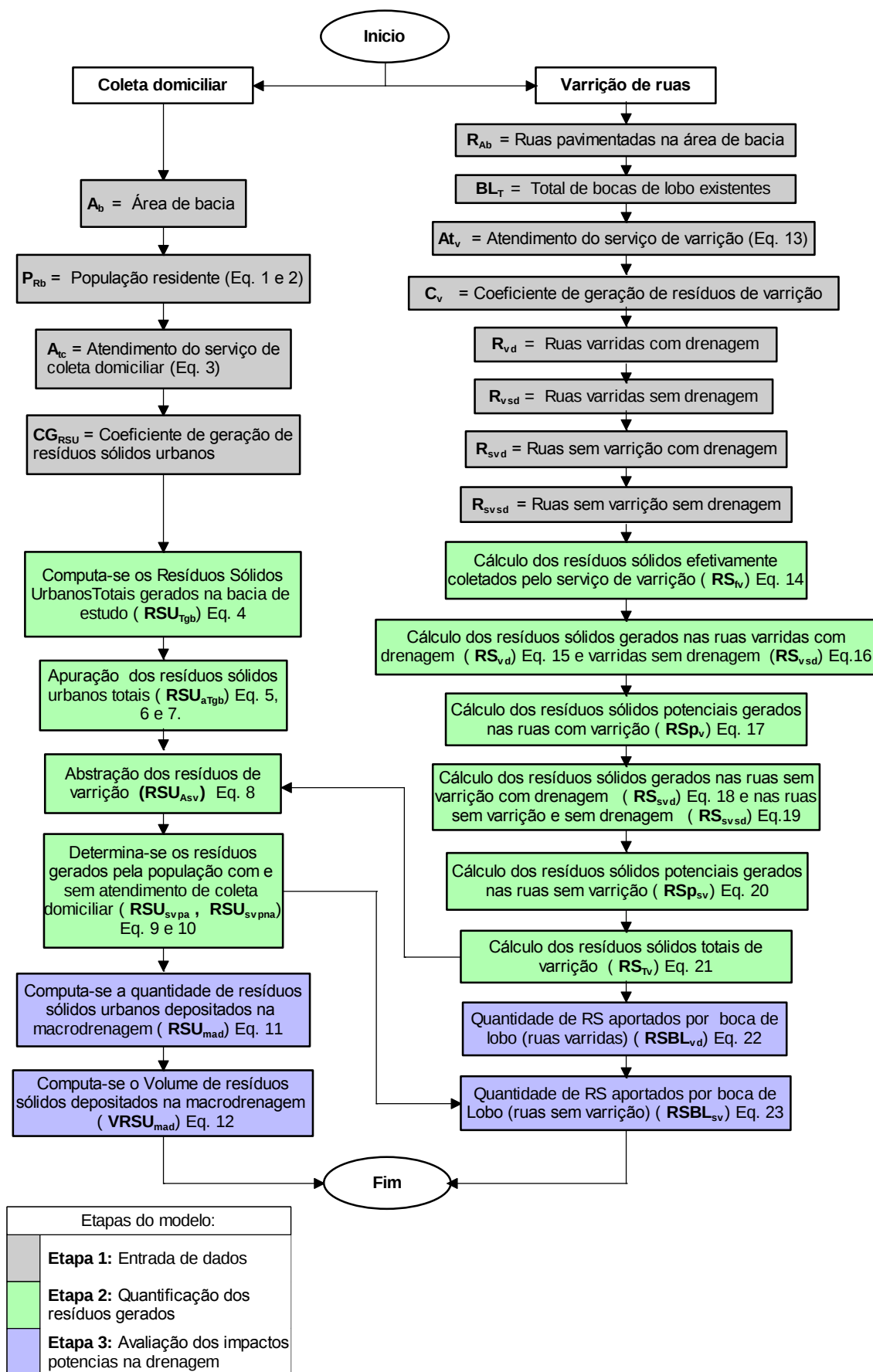


Figura 11- Estrutura de modelo proposto.

5.2 *Análise do serviço de coleta*

A proposta de análise do serviço de coleta, para estimar o aporte potencial de resíduos sólidos ao sistema de drenagem, conforma-se por três etapas como descrito ao início deste capítulo. Estas etapas contemplam variáveis que influenciam a geração de RSU, para o serviço de coleta e uma série de equacionamentos propostos para estimar as quantidades susceptíveis a impactar a drenagem.

5.2.1 **Etapa1: Entrada de dados**

Esta primeira etapa está conformada por quatro variáveis, entre elas área da bacia (A_b), sua população residente (P_{Rb}), o nível de atendimento do serviço de coleta (At_c) e o coeficiente de geração de RSU (CG_{RSU}) regional.

5.2.1.1 Área da bacia (A_b)

O critério de análise adotado no modelo proposto baseia-se na delimitação da área de estudo por bacias hidrográficas, fundamentado na premissa de são as unidades a partir da qual é realizado o planejamento e a gestão dos recursos hídricos.

Para a determinação da bacia hidrográfica no modelo, sugere-se o auxílio de ferramentas de Sistema de Informações Geográficas (SIG), para a delimitação da bacia com base nos limites topográficos ou divisores de águas e a rede de drenagem natural. Para isso faz-se necessário a análise de informações sobre planialtimetria e a hidrografia presente, delimitando sua área em km^2 .

5.2.1.2 População residente (P_{Rb})

Na estimativa da população residente na bacia deve-se conhecer o número de habitantes presentes na área de estudo. Para isso é necessário incorporar as informações referentes à densidade demográfica estabelecida para cada área da delimitação territorial escolhida, seja esta por áreas de ponderação, setores censitários ou por bairros.

Uma vez obtidas às informações de densidade demográfica e área de cada delimitação territorial dentro a bacia de estudo se procede a utilizar a equação (1) e posteriormente a equação (2) para o cálculo da população total de residentes na bacia.

$$P_{Rb} = A_{Bb} \times Dd_B \quad (1)$$

Onde

P_{RBb} = População residente na área de cada bairro inserida na bacia estudada.

A_{Bb} = Área do bairro dentro a bacia de estudo em km^2

Dd_B = Densidade demográfica (hab/km^2) para a área do bairro presente na bacia.

$$P_{Rb} = \sum P_{RBb} \quad (2)$$

Onde:

P_{Rb} = População total residente na bacia estudada.

P_{RBb} = População residente na área do bairro inserida na bacia estudada.

5.2.1.3 Atendimento do Serviço de coleta domiciliar (At_c)

O atendimento do Serviço de coleta domiciliar representa a percentagem da população atendida no serviço, devendo ser inferida em função da definição de projeto ou de informações do serviço de limpeza urbana, nos locais que apresentem cobertura do serviço. Quando o dado for inserido em função da informação presente na área o At_c pode ser calculado usando a equação 3.

$$At_c = \frac{\sum P_{Ra}}{\sum P_{Rb}} \quad (3)$$

Onde:

At_c = Atendimento da coleta domiciliar (percentagem)

P_{Ra} = População Residente atendida pela coleta domiciliar na área da bacia estudada (habitantes)

P_{Rb} = População Total Residente na bacia (habitantes).

5.2.1.4 Coeficiente de geração de RSU (CG_{RSU})

Uma vez obtidas as informações sobre a população total residente na área de estudo, deve-se definir um ou mais coeficientes que contemplem a quantidade de resíduos sólidos gerados *per capita*, a serem utilizados para quantificar a massa de resíduos gerada pela população residente na área de estudo. A escolha do coeficiente deve ser criteriosa baseada em estudos regionais e/ou locais, para que este tenha melhor representatividade das características locais e assim obter melhor ajuste na geração dos RSU.

5.2.2 Etapa 2: Quantificação dos resíduos gerados

Uma vez inseridos os dados de entrada, na etapa 2, se procede à quantificação total dos RSU que podem ser gerados na área de estudo, assim como sua apuração e segregação da fração de resíduos gerados pela população presente na área com atendimento de serviço de coleta de resíduos e na área sem presença do serviço.

5.2.2.1 Determinação dos RSU totais gerados na bacia RSU_{Tgb}

Para o cálculo dos resíduos sólidos urbanos totais gerados na bacia, deve-se utilizar as informações correspondentes à população residente na área de estudo e o CG_{RSU} (equação 4). O dado obtido informará a respeito da quantidade de RSU que essa população residente consegue produzir anualmente ou no período de tempo estabelecido pelo projetista.

$$RSU_{Tgb} = P_{Rb} \times CG_{RSU} \times 365 \quad (4)$$

Onde:

RSU_{Tgb} = Resíduos sólidos urbanos totais gerados na bacia (kg/ano)

P_{Rb} = População total residente na área na bacia (habitantes)

CG_{RSU} = Coeficiente de geração de RSU (kg/hab/dia)

365 = Fator de multiplicação para converter a ano.

5.2.2.2 Apuração dos resíduos sólidos urbanos totais (RSU_{aTgb})

Quando a informação correspondente a geração de RSU_{Tgb} representa a massa total sem a segregação dos resíduos de serviço de saúde RSS e entulho (estes últimos que incluem pedra e areia) deve-se realizar a abstração dessas frações de resíduos. Mas, se o coeficiente CG_{RSU} utilizado representa unicamente a geração de RSU¹⁸ *per capita* os coeficientes de abstração não seriam utilizados, descartando-se seu cálculo.

O coeficiente de abstração entulho (C_E) expressa a relação de entulho, em função dos RSU totais gerados na cidade onde se encontra inserida a área de estudo. Esta informação pode ser levantada, junto aos órgãos encarregados pela limpeza urbana da cidade e para seu cálculo pode utilizar-se a equação 5.

¹⁸ RSU, de acordo a Lei Federal nº 12.305 do ano 2010 incluem os resíduos domiciliares (RDO), e resíduos públicos (RPU) conformados estes último por resíduos de varrição, limpeza de logradouros e vias públicas.

$$C_E = \frac{E}{RSU_{Tg}} \quad (5)$$

Onde:

C_E = Coeficiente de abstração de entulho (adimensional)

E = Entulho total coletado na cidade (kg/ano)

RSU_{Tg} = Resíduos sólidos urbanos totais gerados na cidade (kg/ano)

Já o coeficiente de abstração de resíduos de serviço de Saúde (C_{RSS}), que expressa a relação dos resíduos de serviço de saúde, em função dos RSU totais gerados na cidade, pode calcular-se utilizando a equação 6, de acordo à informações oficiais disponíveis.

$$C_{RSS} = \frac{RSS}{RSU_{Tg}} \quad (6)$$

Onde:

C_{RSS} = Coeficiente de abstração de resíduos de saúde (adimensional)

RSS = Resíduos sólidos de saúde (kg /ano)

RSU_{Tg} = Resíduos sólidos urbanos totais gerados na cidade (kg /ano)

Após os cálculos das abstrações, deve-se aplicar a equação 7, para obter o valor de RSU sem varrição apurados (RSU_{aTgb}), ou seja, aqueles sem a fração de RSS e entulho. Salienta-se que a abstração do C_E e do C_{RSS} , somente será realizada no caso que os coeficientes de geração *per capita* CG_{RSU} escolhidos contemplem a massa dos RSS e do entulho, caso contrário não será necessária realização da dita abstração.

$$RSU_{aTgb} = RSU_{Tgb} - ((RSU_{Tgb} \times C_E) + (RSU_{Tgb} \times C_{RSS})) \quad (7)$$

Onde:

RSU_{aTgb} = Resíduos sólidos urbanos apurados totais gerados na bacia (kg/ano)

RSU_{Tgb} = Resíduos sólidos urbanos totais gerados na bacia (kg/ano)

C_E = Coeficiente de abstração de entulho (adimensional)

C_{RSS} = Coeficiente de abstração de resíduos de serviço de saúde (adimensional)

5.2.2.3 Abstração dos resíduos de varrição (RSU_{Asv})

Como mencionado ao início deste capítulo, na proposta do modelo de quantificação de resíduos sólidos afluentes ao sistema de drenagem, existem valores que devem ser extraídos do total da massa coletada dos RSU_{Tgb} , por fazer parte desta classificação. A

varrição é uma delas, devido a que usualmente a massa coletada por este serviço, é computada junto com a massa do serviço de coleta domiciliar.

Para isso, na proposta de análise da influência do impacto do serviço de coleta no sistema de drenagem urbano, se faz necessária a abstração das quantidades de massa coletada pelo serviço de varrição, que é denominada como resíduos sólidos de varrição totais (RS_{Tv}). Seu cálculo é explicado com detalhe na seção 5.3.3, por fazer parte da proposição do modelo de análise do impacto varrição na drenagem.

Após a abstração dos RS_{Tv} do RSU_{Tgb} , resta o RSU sem a varrição que é denominado como RSU_{Asv} . Para seu cálculo deve-se aplicar a equação 8.

$$RSU_{Asv} = RSU_{Tgb} - RS_{Tv} \quad (8)$$

Onde:

RSU_{Asv} = Resíduos sólidos urbanos sem a massa coletada da varrição (kg/ano)

RSU_{Tgb} = Resíduos sólidos urbanos totais gerados na bacia (kg/ano)

RS_{Tv} = Resíduos sólidos totais de varrição (kg/ano)

5.2.2.4 Resíduos gerados pela população com e sem atendimento de coleta domiciliar (RSU_{svpa} , RSU_{svpna})

Para a determinação dos resíduos sólidos urbanos da área da bacia que apresenta ou não cobertura do serviço de coleta domiciliar, deve-se calcular o coeficiente de atendimento do serviço de coleta para o ano em estudo.

Os resíduos gerados pela população atendida pelo serviço de coleta domiciliar (RSU_{svpa}) devem ser mensurados pela equação 9. E os resíduos gerados pela população não atendida (RSU_{svpna}) devem ser determinados pela equação 10.

Nesta proposta de análise do serviço de coleta domiciliar, a massa de resíduos gerada pela população não atendida foi definida como a massa potencial a atingir a drenagem pluvial, atribuída por não apresentar uma definição clara do local de disposição destes resíduos. Por isso, estes devem ser considerados como a massa de resíduos potencial a atingir o sistema de macrodrenagem.

$$RSU_{svpa} = RSU_{asv} \times \%Atend.Coleta \quad (9)$$

$$RSU_{svpna} = RSU_{asv} \times (1 - \%Atend.Coleta) \quad (10)$$

Onde:

RSU_{svpa} = RSU sem varrição gerados pela população com atendimento de coleta domiciliar (kg/ano)

RSU_{svpna} = RSU sem varrição gerados pela população não atendida pelo serviço de coleta domiciliar (kg/ano)

RSU_{Asv} = Resíduos sólidos urbanos sem a massa coletada da varrição (kg/ano)

5.2.3 Etapa 3: Avaliação dos impactos potenciais na drenagem

Uma vez calculada a massa de resíduos não coletados pelo sistema de limpeza urbana, deve-se subtrair a porção de resíduos que devido a suas características físicas podem impactar o sistema de microdrenagem (equação 11). Para isso, com base nos resultados obtidos por Neves (2006), nesta proposta do modelo se assume a premissa de que uma fração (cerca de 2 %) dos resíduos gerados nas áreas sem atendimento do serviço de coleta consegue ingressar nas bocas de lobo.

$$RSU_{mad} = RSU_{svpna} - (RSU_{svpna} \times (\%microd)) \quad (11)$$

Onde:

RSU_{mad} = Resíduos sólidos urbanos depositados na macrodrenagem (kg/ano)

RSU_{svpna} = RSU sem varrição gerados pela população não atendida pelo serviço de coleta domiciliar (kg/ano)

RSU_{svpa} = RSU sem varrição gerados pela população com atendimento de coleta domiciliar (kg/ano)

$\%microd$ = percentagem assumido de resíduos sólidos da coleta que pode afluir na microdrenagem

Depois de feita a subtração do aporte de resíduos possíveis a atingir a microdrenagem, se define o restante desta massa como o resíduo potencial a impactar o sistema de macrodrenagem, sustentado nos estudos de Neves (2006) e Tucci (2001), que relatam que a fração de resíduos não recolhidos no serviço de coleta, tem menor chance de atingir infraestruturas de microdrenagem como bocas e lobo, em comparação com os resíduos de varrição que deixam de ser coletados. Os autores evidenciam que os resíduos domiciliares não coletados em sua maioria são dispostos e locais inadequados como terrenos baldios próximos a cursos de água, sistemas de macrodrenagem e nas calhas de córregos e canais.

Ao obter a massa de RSU com potencial de alcançar a macrodrenagem, pode-se utilizar para a conversão de massa para volume a equação 12, adotando determinada densidade, que de acordo com Armitage *et al.* (1998b) para os resíduos de coleta seja de 95 kg/m³. Ressalta-se que a utilização deste fator de conversão sustenta-se na sua determinação para resíduos encontrados nas bocas de lobo no estudo realizado pelos autores.

$$VRSU_{mad} = \frac{m}{d} \quad (12)$$

Onde:

$VRSU_{mad}$ = Volume de resíduos sólidos depositados na macrodrenagem (m³)

m = massa em kg dos resíduos RSU_{mad} .

d = densidade adotada de 95 kg/m³.

5.3 Análise do serviço de varrição

A quantificação dos resíduos depositados nas ruas é importante para determinar o impacto potencial daqueles que podem alcançar o sistema de drenagem. Muitos destes são recolhidos pelo serviço de varrição. Dessa forma atribui-se a estes a classificação como sendo resíduos sólidos de varrição.

Os autores, Marais e Armitage (2004), Tucci (2004), e Neves (2006), concluíram que os resíduos da varrição apresentaram forte influência nos impactos sobre a microdrenagem em áreas urbanas. Assim esta proposta adota como premissa a análise e quantificação dos resíduos de varrição, para estimar a massa potencial que pode impactar o sistema de microdrenagem, em especial, as bocas de lobo.

A proposição de análise do serviço de varrição segue a mesma estrutura sugerida para o serviço coleta, que foi dividida em três etapas, conformadas pela entrada dos dados do modelo, quantificação dos resíduos em função dos dados inseridos e avaliação dos impactos potenciais na drenagem.

5.3.1 Etapa 1: Entrada de dados

Na análise do sistema de varrição, as principais variáveis de entrada de dados no modelo proposto correspondem às ruas presentes na área de estudo, bocas de lobo

existentes nas ruas, o nível de atendimento do serviço de varrição, sua frequência e o fator de geração destes resíduos.

Os dados de entrada analisados em conjunto, possibilitam a quantificação do potencial de resíduos que podem chegar às bocas de lobo, arrastados pelo vento e/ou escoamento superficial, assim como por ações antrópicas, como o depósito direto dos resíduos de varrição não coletados nas sarjetas.

5.3.1.1 Ruas pavimentadas na área da bacia (R_{Ab})

A verificação do arruamento na área de estudo foi estabelecida como prioridade na proposição do modelo, devido à presença de drenagem pluvial urbana e, por conseguinte estruturas como bocas de lobo, que se encontram ligadas à existência de ruas pavimentadas de acordo com as etapas de implementação de infraestrutura urbana em uma zona.

O primeiro passo na verificação das estruturas de drenagem consiste em estabelecer a extensão total de ruas pavimentadas na área da bacia em estudo (R_{Ab}). Para isso, sugere-se levantar as informações georreferenciadas para o manuseio em ambientes SIG.

5.3.1.2 Verificação das bocas de lobo presentes na bacia

Uma vez conhecidas a extensão de ruas asfaltadas na área de estudo se procede ao levantamento da quantidade total de bocas de lobo existentes (BL_T) na área de estudo. Estas informações também podem ser levantadas em formato digital para trabalhar em ambientes SIG.

Nesta etapa deve-se segregar as informações classificando as ruas providas de equipamentos de drenagem (bocas de lobo), e as ruas que não dispõem destes equipamentos, com o objetivo de estabelecer as extensões de ruas com drenagem (R_d) e as ruas sem drenagem (R_{sd}).

5.3.1.3 Nível de atendimento do serviço de varrição (A_{IV})

Uma vez obtidas as extensões das ruas pavimentadas da área da bacia de estudo (R_{Ab}), se procede à verificação o nível de atendimento do serviço de varrição. Esta informação deve conter as extensões de ruas que são varridas na bacia e deverá ser utilizada para a análise da percentagem do atendimento de varrição (equação 13).

$$At_v = \frac{\sum R_v}{\sum R_{Ab}} \quad (13)$$

Onde:

At_v = Atendimento de varrição (percentagem)

R_v = Ruas pavimentadas varridas (km)

R_{Ab} = Extensão total de ruas pavimentadas na área da bacia (km)

Na sequência deve-se realizar a segregação do atendimento em função da extensão das ruas pavimentadas, em quatro condições, sendo elas: ruas varridas com drenagem (R_{vd}) e sem drenagem (R_{vsd}); ruas sem varrição com drenagem (R_{svd}) e sem drenagem (R_{svsd}).

Após a segregação das ruas, deve-se também averiguar as frequências de varrição para as quatro condições, que dependem da localização das ruas e o tráfego viário.

5.3.1.4 Coeficiente de geração de resíduos de varrição (C_v)

O coeficiente de geração de resíduos de varrição é um fator de multiplicação que determina a massa de resíduos por extensão de rua. O C_v pode ser obtido a partir de uma série de dados de serviço de varrição locais ou regionais, que descrevam a massa total coletada e a extensão total de ruas, as quais foram varridas para determinado ano.

5.3.2 **Etapla 2: Quantificação dos resíduos de varrição**

Nesta etapa quantificam-se os resíduos gerados nas ruas cobertas pelo serviço de varrição com drenagem (R_{vd}) e sem drenagem (R_{vsd}). Também se quantificam os resíduos das ruas sem atendimento do serviço de varrição em áreas com e sem equipamentos de microdrenagem (R_{svd} , R_{svsd}).

Para determinar os resíduos que são efetivamente coletados pelo serviço de varrição, dado sua frequência ocorrente no ano (RS_{fv}), pode-ser utilizar a equação 14. Já para o cálculo dos resíduos potenciais a atingir as bocas de lobo, localizadas nas áreas com varrição que levam em conta o total gerado por toda a extensão das ruas R_{vd} e R_{vsd} , podem ser calculados pelas equações (15 e 16), que subtrai o resíduo RS_{fv} , como se observa na equação.

$$RS_{fv} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_v \times X \times f_{i+1}}{365} \right) \quad (14)$$

Onde,

RS_{fv} = Resíduos sólidos efetivamente coletados pelo serviço de varrição (kg/ano)

C_v = Coeficiente de varrição (kg/km)

X = Pode corresponder ao R_{vd} ou a R_{vsd}

f = Frequência de varrição (ano)

$$RS_{vd} = \sum [(C_v \times R_{vd}) - (RS_{fv})] \quad (15)$$

$$RS_{vsd} = \sum [(C_v \times R_{vsd}) - (RS_{fv})] \quad (16)$$

Onde:

RS_{vd} = Resíduos sólidos gerados nas ruas varridas com drenagem (kg)

R_{vd} = Ruas varridas com drenagem (km)

RS_{fv} = Resíduos sólidos efetivamente coletados pelo serviço de varrição (kg)

RS_{vsd} = Resíduos sólidos gerados nas ruas varridas sem drenagem(kg)

R_{vsd} = Ruas varridas sem drenagem (km)

C_v = Coeficiente de varrição (kg/km)

Assim o potencial de resíduos a fluir nas estruturas de microdrenagem presentes nas áreas atendidas pelo serviço de varrição é obtido pela equação 17. Esta equação computa a fração de resíduos que não é coletada no serviço de varrição ou a possível ineficiência do serviço.

$$RSp_v = RS_{vd} + RS_{vsd} \quad (17)$$

Onde:

RSp_v = Resíduos sólidos potenciais gerados nas ruas com varrição (kg)

RS_{vd} = Resíduos sólidos gerados nas ruas varridas com drenagem (kg)

RS_{vsd} = Resíduos sólidos gerados nas ruas varridas sem drenagem (kg)

Já para o cálculo dos resíduos de RS_{svd} e RS_{svsd} , que representam o potencial a impactar as bocas de lobo localizados nas áreas sem varrição, utilizam-se as equações 18 e 19, que estimam a massa total gerada nas ruas que não apresentam limpeza.

$$RS_{svd} = \sum_{i=1}^n (C_v \times R_{svd})$$

(18)

$$RS_{svsd} = \sum_{i=1}^n (C_v \times R_{svsd}) \quad (19)$$

Onde:

- RS_{svd} = Resíduos sólidos gerados nas ruas sem varrição com drenagem (kg/ano)
- R_{svd} = Ruas sem varrição com drenagem (km/ano)
- C_v = Coeficiente de varrição (kg/km)
- RS_{svsd} = Resíduos sólidos gerados nas ruas sem varrição e sem drenagem (kg/ano)
- R_{svsd} = Ruas sem varrição e sem drenagem (km)
- C_v = Coeficiente de varrição (kg/km)

Calculados os resíduos provindos de cada situação (R_{svd} e R_{svsd}), procede-se ao cálculo dos resíduos potenciais a afluir às bocas de lobo, mediante a somatória deles (equação 20), representando os resíduos gerados nas áreas sem atendimento de varrição.

$$RSp_{sv} = RS_{svd} + RS_{svsd} \quad (20)$$

Onde:

- RSp_{sv} = Resíduos sólidos potenciais gerados nas ruas sem varrição (kg)
- atendimento de varrição (kg)
- RS_{svd} = Resíduos sólidos gerados nas ruas sem varrição com drenagem (kg)
- RS_{svsd} = Resíduos sólidos gerados nas ruas sem varrição e sem drenagem (kg)

Uma vez calculados o RSp_v e o RSp_{sv} , sua somatória representa a massa total dos resíduos de varrição RS_{Tv} (equação 21).

$$RS_{Tv} = RSp_v + RSp_{sv} \quad (21)$$

Onde:

- RS_{Tv} = Resíduos sólidos totais de varrição (kg)
- RSp_v = Resíduos sólidos potenciais gerados nas ruas com varrição (kg)
- RSp_{sv} = Resíduos sólidos potenciais gerados nas ruas sem varrição (kg)

5.3.3 Etapa 3: Avaliação dos impactos potenciais na drenagem

Determinadas as quantidades de resíduos potenciais correspondentes à varrição nas diferentes situações, procede-se à discriminação da massa de resíduos aportada a cada unidade de boca de lobo localizada na área de estudo. Ressalta-se que, a estes resíduos deve-se acrescentar uma fração de contribuição advinda da geração dos resíduos de coleta sem atendimento seguindo a linha do raciocínio conforme verificado por Neves (2006).

5.3.3.1 Contribuição dos resíduos de coleta (C_{RC})

Baseado nos resultados obtidos por Neves (2006), na proposta do modelo se assume a premissa de que uma fração dos resíduos gerados nas áreas sem atendimento do serviço de coleta consegue ingressar nas bocas de lobo, onde esta fração do resíduo de coleta domiciliar que pode alcançar a microdrenagem pode chegar a aproximadamente 2 % da massa total.

5.3.3.2 Quantificação de RS aportados por boca de lobo localizadas nas ruas com varrição ($RSBL_{vd}$)

Com os resultados potenciais afluir na microdrenagem da área com presença de varrição (RSp_v), se determina a massa afluir por unidade de boca de lobo de acordo com a equação 22.

$$RSBL_{vd} = \frac{RSp_v}{BL_v} \quad (22)$$

Onde:

$RSBL_{vd}$ = Resíduos sólidos potenciais a ser aportados nas bocas de lobo gerados nas áreas varridas com presença de drenagem (kg/ano.bl)

RSp_v = Resíduos sólidos potenciais que impactam a microdrenagem em área com atendimento de varrição (kg)

BL_v = Bocas de lobo localizadas nas áreas com varrição (unidade)

5.3.3.3 Quantificação de RS aportados por boca de lobo localizadas nas ruas sem varrição (RSBL_{sv})

Analogamente se determina a massa afluir por unidade de boca de lobo (equação 23) localizada na área sem presença de varrição.

$$RSBL_{sv} = \frac{RSp_{sv} + C_{RC}}{BL_{sv}} \quad (23)$$

Onde:

RSBL_{sv} = Resíduos sólidos potenciais a ser aportados nas bocas de lobo gerados nas áreas sem varrição (kg/ano.bl)

RSp_v = Resíduos sólidos potenciais que impactam a microdrenagem em área com atendimento de varrição (kg)

BL_v = Bocas de lobo localizadas nas áreas com varrição (unidade)

5.4 **Considerações gerais**

O modelo proposto baseia-se em duas análises sendo estas a geração de resíduos de coleta domiciliar para estimar a carga potencial que afeta as estruturas de macrodrenagem e a geração de resíduos de varrição, como os principais fatores de impacto sobre as estruturas do sistema de microdrenagem.

Os dados de entrada do modelo contemplam características fisiográficas, demográficas, do nível de atendimento de serviços de limpeza urbana e drenagem da bacia, bem como os coeficientes de geração dos resíduos para cada atividade.

Para consolidação do modelo, se realizou sua aplicação na bacia do córrego Engenho Nogueira localizada no perímetro urbano da cidade de Belo Horizonte. As informações utilizadas constituem-se de dados secundários fornecidos pelos órgãos encarregados dos serviços de drenagem e limpeza urbana, assim como informações provenientes de estudos locais.

6 APLICAÇÃO DO MODELO

O modelo desenvolvido a partir da proposta apresentada no capítulo 5 foi aplicado na bacia do córrego Engenho Nogueira, com finalidade de verificar sua aplicabilidade e analisar a sensibilidade entre o modelo teórico e os dados reais em termos das quantidades de resíduos sólidos afluentes ao sistema de drenagem da área estudada.

6.1 *Análise de dados de serviço de coleta*

Na análise de dados do serviço de coleta foram utilizadas informações provenientes de órgãos oficiais como a prefeitura municipal de Belo Horizonte, a SLU, o IBGE e estudos de resíduos sólidos pertinentes para a região.

6.1.1 **Etapa 1: Dados de entrada**

6.1.1.1 Área da bacia (A_b)

A bacia elementar do córrego Engenho Nogueira esta situada na macro-bacia do Ribeirão da Onça no município de Belo Horizonte –MG. Conta com uma área total de drenagem de 10,04 km², conformada por sete sub-bacias.

A área de estudo inserida dentro da bacia do córrego Engenho Nogueira conforma-se por três de suas sub-bacias elementares. Estas localizadas a montante da bacia de retenção de cheias que se comporta como seu exutório, cuja construção foi finalizada em dezembro de 2011, tendo como objetivo a contenção de cheias e o amortecimento das inundações ocorrentes na região (PMBH, SMOBI e SUDECAP, 2015b).

As três sub-bacias estudadas possuem uma área de drenagem que somam 2,91 km², correspondendo a 29% da área total da bacia elementar do córrego Engenho Nogueira (Figura 12). A área de estudo encontra-se inserida em duas regionais administrativas, sendo 25,6% na regional Pampulha e 74,4% na regional noroeste.

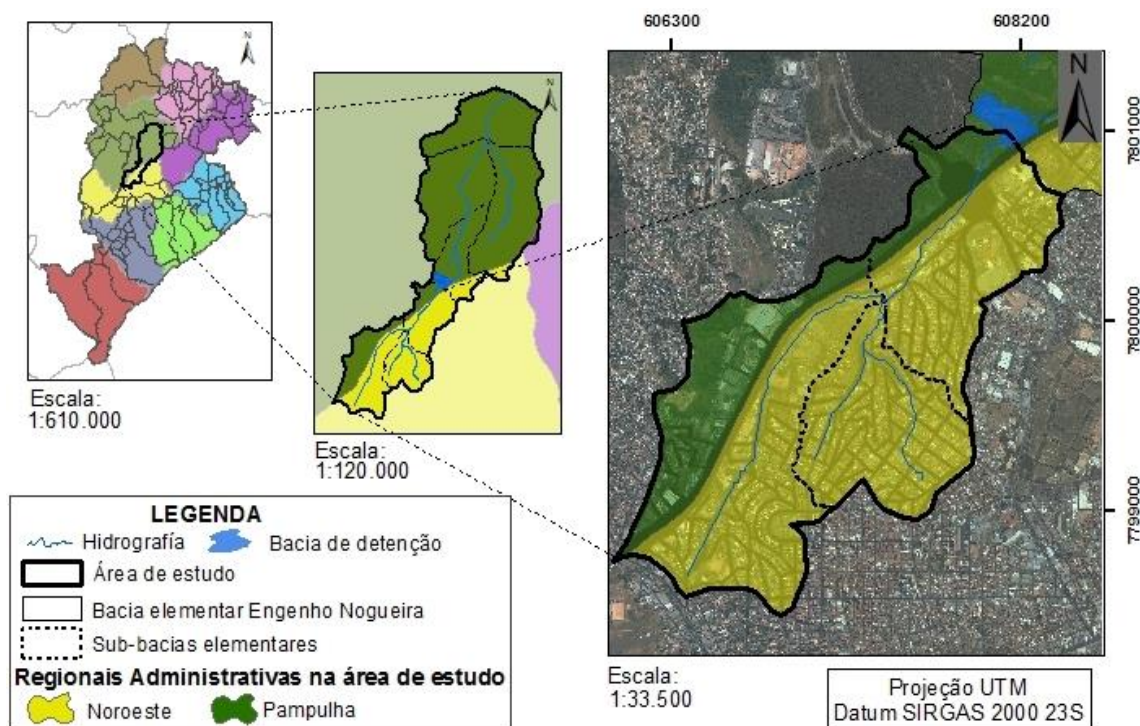


Figura 12- Área de estudo

Para a delimitação da área de estudo, foi utilizada a base cartográfica de dados da prefeitura, correspondente as bacias e sub-bacias hidrográficas de Belo Horizonte.

As informações foram processadas em ambientes SIG, onde foi isolada a área de estudo e posteriormente se utilizou como critério de análise o sistema de drenagem, para a delimitação das áreas que contribuem com escoamento à bacia de retenção de cheias.

6.1.1.2 População residente (P_{Rb})

Para estimativa da população residente na bacia incorporaram-se as informações referentes à densidade demográfica, para a menor unidade territorial, disponíveis pelo IBGE que correspondeu aos bairros. Os dados utilizados foram extraídos do censo populacional realizado em 2010 (IBGE, 2011) e ajustados para os demais anos estudados (2011 e 2012) de acordo com a taxa de crescimento anual. Com auxílio da ferramenta SIG, foram identificados e extraídos os bairros ou a fração deles presentes dentro da área de estudo. Verificou-se a presença de 9 bairros formais e 3 vilas (Figura 13).

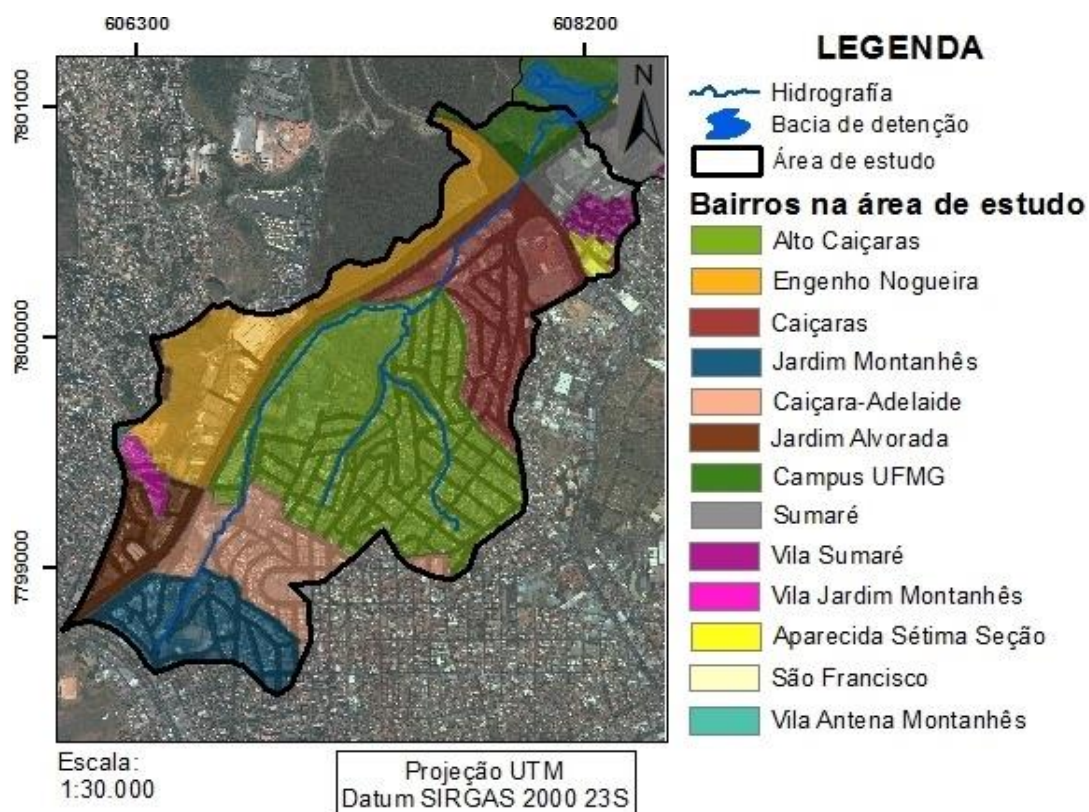


Figura 13- Delimitação bairros na área de estudo

Posteriormente determinou-se a população residente por bairros (IBGE, 2011), multiplicando a área do bairro dentro da bacia (A_{Bb}) pela densidade correspondente. A população total se deu mediante somatório da população calculada para cada bairro. A Tabela 7 mostra a população mensurada para os anos observados.

Tabela 7- População residente da área de estudo

Nome Bairro	Área de estudo km ²	População residente		
		2010 Hab.	2011 Hab.	2012 Hab.
Alto Caiçaras	1,019	7.068	7.099	7.129
Engenho Nogueira	0,486	337	339	340
Caiçaras	0,413	2.409	2.420	2.430
Jardim Montanhês	0,273	2.718	2.730	2.742
Caiçara-Adelaide	0,272	3.762	3.779	3.795
Jardim Alvorada	0,153	1.659	1.666	1.673
Campus UFMG	0,094	-	-	-
Sumaré	0,085	-	-	-
Vila Sumaré	0,052	1.747	1.755	1.762
Vila Jardim Montanhês	0,031	268	269	270
Aparecida Sétima Seção	0,024	251	252	253
Vila Antena Montanhês	0,004	61	61	61
Total	2,91	20.280	20.370	20.456

Observa-se na Tabela 6 que dois bairros não apresentam informações referentes à população residente devido a ausência das mesmas na informação utilizada do IBGE, portanto o nível de impacto da ausência de esta informação é mínimo no que respeita ao campus da UFMG devido a que a área dentro da bacia do campus corresponde a área verde.

6.1.1.3 Verificação do atendimento do serviço de coleta domiciliar

O nível de atendimento de coleta foi obtido com auxílio da malha digital trabalhada em ambientes SIG, fornecida pela SLU. Estas informações contêm as rotas de atendimento do serviço espacializadas e seu manuseio possibilitou a extração da área de estudo que por sua vez possibilitou mensurar a população residente discriminando-a em população atendida e não atendida (Figura 14).

Ressalta-se que as informações de atendimento de coleta domiciliar foram atualizadas em período de 4 anos, compreendidos entre o ano de 2008 a 2012. Nesse período verificou-se que não houve variação da cobertura de atendimento para a área de estudo mantendo-se o nível de atendimento em 98% (Tabela 8).

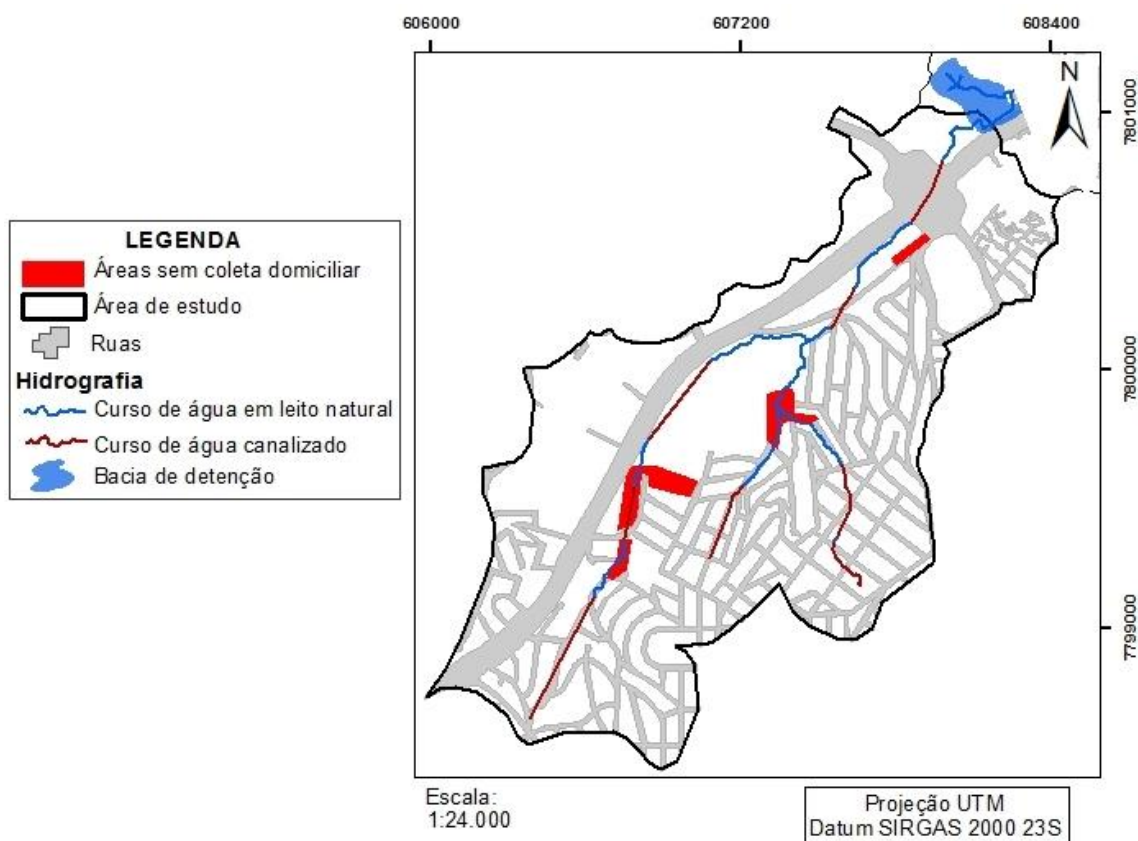


Figura 14- Atendimento de coleta domiciliar

Tabela 8- Atendimento de serviço de coleta domiciliar

Descrição /Ano	2010	2011	2012
População total	20.280	20.370	20.456
População atendida	19.856	19.944	20.028
População não atendida	424	426	428
% de atendimento	98	98	98

6.1.1.4 Coeficiente de geração de RSU (CG_{RSU})

Foi adotado o coeficiente de geração *per capita* de resíduos sólidos de acordo com o estudo realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) que reúne e processa as informações fornecidas pelas empresas pertencentes ao setor de resíduos em um relatório anual que retrata o panorama da geração de RSU para as diferentes regiões do Brasil.

Os coeficientes de geração *per capita* de 1,288, 1,293 e 1,248 kg/hab.dia, respectivamente para os anos de 2010, 2011 e 2012, foram baseados no relatório que contém as informações de geração de RSU da região sudeste (ABRELPE, 2013). Portanto, a utilização destes pode representar com maior fidelidade as características regionais e locais da área de estudo.

6.1.2 Etapa 2: Quantificação dos RSU totais

Uma vez levantados os dados de entrada, se procede a quantificação RSU_{Tgb} usando os coeficientes de geração *per capita* adotados para cada ano. Posteriormente, se subtraiu destes o resíduo de varrição, e realizou-se a atribuição das frações correspondentes as áreas atendidas e não atendidas pelo serviço de coleta.

Os resultados obtidos na quantificação de resíduos sólidos para cada ano simulado são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9- Resíduos de coleta gerados pelo modelo

Descrição / Anos simulados	Sigla	Un.	2010	2011	2012
RSU Totais gerados na bacia	RSU_{Tgb}	kg	9.534.105,9	9.613.384,6	9.318.270,5
RSU excluindo os resíduos de varrição	RSU_{Asv}	kg	9.533.765,2	9.613.082,8	9.318.069,8
RSU apurados sem varrição gerados pela população atendida	RSU_{svpa}	kg	9.334.445,9	9.412.105,2	9.123.260
RSU apurados sem varrição gerados pela população não atendida	RSU_{svpna}	kg	199.319,3	200.977,6	194.809,8

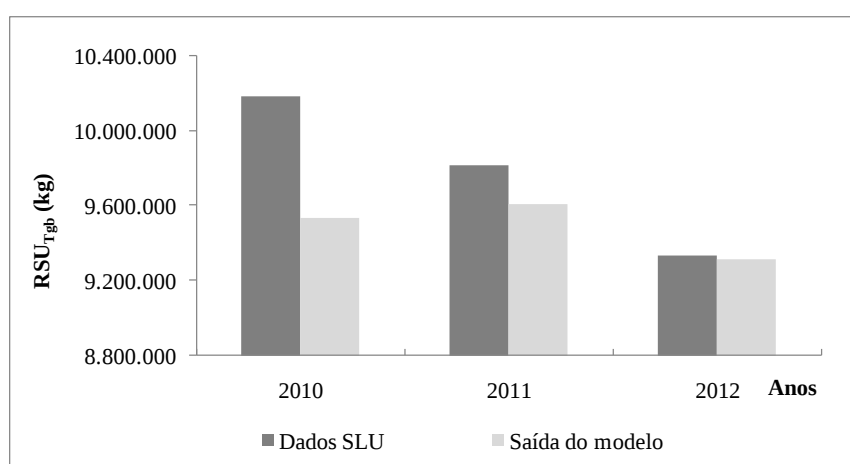
Verificou-se que os resultados apresentaram variações no decorrer do tempo. No entanto, as variações não apresentam linearidade com o crescimento populacional, uma vez que, houve incremento da população em 1% entre os anos de 2010 a 2012, o valor total de resíduos de coleta gerados reduziu cerca de 2 %. Possivelmente porque a variação da massa de resíduos acompanhou a flutuação dos coeficientes de geração *per capita* (CG_{RSU}).

A Tabela 10 demonstra a segregação dos resíduos de coleta extraído do relatório do serviço de limpeza para os anos estudados.

Tabela 10- Segregação dos dados dos relatórios da SLU

Descrição / Anos	Sigla	2010	2011	2012	Un.
População residente BH		2.375.151	2.385.639	2.385.639,	Hab.
Coeficiente de abstração RCC	C_E	0,20	0,21	0,37	-
Coeficiente abstração RSS	C_{RSS}	0,01	0,01	0,01	-
População residente na bacia	P_{Rb}	20.280	20.369	20.456	Hab.
RSU total coletado BH		1.192.743.739	1.149.490.300	1.088.788.810	kg
RSU total coletado na bacia	RSU_{Tgb}	10.184.206	9.814.897	9.336.128	kg

Com os dados segregados dos relatórios, especificamente o RSU_{Tgb} , é possível realizar a comparação entre os valores simulados e os abstraídos dos relatórios, permitindo realizar uma análise de aplicabilidade do modelo (Figura 15).

**Figura 15-** RSU_{Tgb} gerados pelo modelo e relatório da SLU

Verificou-se que os valores totais da geração de resíduos do serviço de coleta, obtidos pela segregação das informações do relatório da SLU, apresentaram uma tendência decrescente no decorrer dos três anos avaliados. Para os mesmos anos, a geração dos resíduos totais pelo modelo apresentou uma flutuação entre os anos estudados, que não acompanhou a tendência registrada segundo o relatório.

Portanto, os valores simulados para os anos de 2011 e 2012, apresentaram melhor ajuste se comparado com os dados extraídos dos relatórios da SLU.

6.1.3 Etapa 3: Avaliação dos impactos potenciais na drenagem.

Mediante a obtenção dos valores de geração potencial dos resíduos de coleta das áreas sem atendimento, de acordo com a proposta do modelo, estes foram reduzidos em 1%,

valor atribuído ao impacto sobre a microdrenagem, e o restante se atribuiu ao aporte à macrodrenagem (Tabela 11).

Tabela 11- Resíduos sólidos aportados à macrodrenagem simulados com o modelo proposto

Descrição / Anos simulados	Sigla	2010	2011	2012	Un.
Massa de resíduos sólidos urbanos aportados a macrodrenagem	RSU _{mad}	197.326,1	198.967,8	192.861,7	kg
Volume total RSU potencial a macrodrenagem	VRSU _{mad}	2.098,1	2.115,6	2.050,6	m ³

Para efeito de comparação entre os resíduos gerados pelo modelo e aqueles oriundos dos relatórios da remoção de sólidos na bacia de detenção do córrego Engenho Nogueira, apenas se pode comparar os volumes gerados, uma vez que o relatório não dispõe de informações da massa desses resíduos (Tabela 12).

Tabela 12- Volumes de Resíduos sólidos retirados na bacia de detenção Engenho Nogueira

Ano	Mês de execução da limpeza	Total geral (m³/ ano)
2012	Maio e julho	15.585
2013	Agosto	7.169
2014	Fevereiro, março e abril	11.583
2015	Fevereiro, março, abril, junho, julho.	19.108
Média anual		13.316,23

Fonte: Souza *et al.*(2013), SUDECAP (2015) (Adaptados)

Ao considerar a densidade de 95 kg/m³, os volumes de resíduos sólidos gerados com o modelo foram inferiores aos volumes de remoção de resíduos sólidos da bacia de detenção do córrego Engenho Nogueira que foi realizada no ano de 2012, após início de operação no ano de 2011, o que significa que o ano de 2012 é o único dado de comparação correspondente aos anos modelados.

Embora os valores modelados tenham apresentado dispersão dos valores dos relatórios, é importante salientar que este equipamento não apresentou desde sua finalização limpeza prévia, e que nele também chegam sedimentos provenientes da área de drenagem da bacia, e os resíduos que a população dispõe inadequadamente como os RCC, animais mortos entre outros. Assim como também não foram considerados os

resíduos que possivelmente ficam retidos nas galerias, mas que são aportados para estrutura de detenção após eventos fortes de precipitação.

Com isso, é perceptível que o volume potencial calculado de resíduos a afluir ao sistema de macrodrenagem se encontra subestimado dos volumes de retirada de material pela limpeza da bacia de detenção.

6.2 *Análise de dados de serviço de varrição*

6.2.1 *Etapa 1: Dados de entrada*

Realizou-se o levantamento da extensão do total das ruas pavimentadas presentes na bacia estudada, usando o arquivo digital do arruamento de Belo Horizonte da PRODABEL que foi trabalhado no ambiente SIG. Posteriormente utilizando a malha digital com as informações sobre o atendimento de varrição da SLU, se identificou a extensão das ruas na bacia que apresentavam atendimento, ou não, do serviço.

Posteriormente utilizando as informações de malha de drenagem existente na bacia fornecidas pela SUDECAP se identificou para as ruas que não apresentaram serviço de varrição, aquelas com e sem estruturas de microdrenagem (bocas de lobo).

A malha de drenagem fornecida também permitiu contabilizar o número de bocas de lobo para cada situação.

As informações levantadas por meio das bases de dados utilizadas são apresentadas na tabela 13.

Tabela 13- Arruamento na área de estudo e presença de drenagem

Anos / Descrição	Sigla	2010 Km	2010 BL (un)	2011 km	2011 BL (un)	2012 km	2012 BL (un)
Ruas varridas com drenagem	R _{vd}	25,23	368	27	364	28,43	386
Ruas varridas sem drenagem	R _{vsd}	6,06	-	5,53	-	6,01	-
Ruas sem varrição com drenagem	R _{svd}	2,06	48	1,96	52	1,32	30
Ruas sem varrição sem drenagem	R _{svsd}	3,73	-	2,61	-	1,38	-
Total		37,1	416	37,1	416	37,1	416

BL: Bocas de lobo existentes.

Uma vez obtido um panorama do serviço de varrição na bacia e da presença de microdrenagem no arruamento, procedeu-se ao detalhamento do nível de atendimento da varrição contemplando também as frequências de prestação do serviço realizadas por ano e cada trecho (Figura 16).

Foi observado que as frequências de varrição para cada trecho pavimentado na área de estudo dependeram do número de vezes semanais que as ruas foram varridas, neste caso encontrou-se a variação de 1 e 2 vezes por semana, o que significa respectivamente 52 e 104 vezes ao ano (Tabela 14).

Tabela 14- Detalhamento do atendimento da varrição na área de estudo

Descrição / Anos	Sigla	Un.	f_v[*]	2010	2011	2012
Ruas varridas com drenagem	R _{vd}	km	52	24,78	25,87	27,33
			104	0,45	1,13	1,10
Ruas varridas sem drenagem	R _{vsd}	km	52	5,32	4,91	5,77
			104	0,74	0,62	0,24
Ruas sem varrição com drenagem	R _{svd}	km	0	2,06	1,96	1,32
Ruas sem varrição sem drenagem	R _{svsd}	km	0	3,73	2,61	1,38
Ruas pavimentadas na área de estudo	R _{Ab}	km	-	37,08	37,10	37,14
Atendimento de varrição	At _v	%	-	84,39	87,72	92,73

*f_v: Frequência de varrição correspondente ao número de vezes que as ruas são varridas ao ano, sendo 52 vezes quando as ruas são varridas 1 vez cada semana e 104 duas vezes por semana.

Foi observado que o nível de atendimento de varrição na bacia para o ano 2010 foi de 84,39%, no ano 2011 de 87,72% e para o ano 2012 de 92,4% o que evidenciou uma evolução da cobertura do serviço.

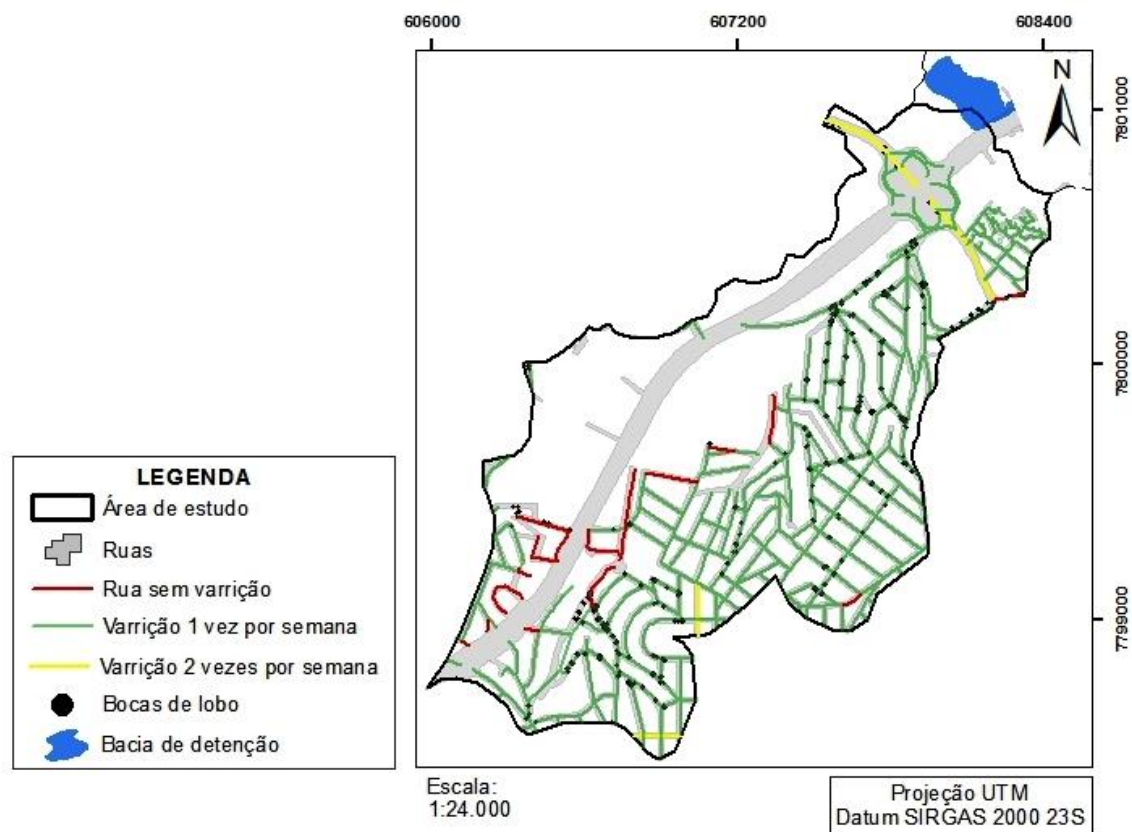


Figura 16- Atendimento do serviço de varrição ano 2012

Com base nas informações extraídas dos relatórios da SLU para os anos 2010 a 2012, referente à massa total coletada pelo serviço de varrição e as extensões totais de ruas varridas em Belo Horizonte, determinou-se o coeficiente de geração de resíduos de varrição (C_v), apresentado na Tabela 15.

Tabela 15- Determinação do coeficiente geração de resíduos de varrição (C_v)

Ano	Massa coletada da varrição kg	Extensão rua varridas km	Massa coletada por extensão varrida (C_v) kg / km
2010	42.511.980	577.257,50	73,64
2011	40.080.930	648.536,53	61,80
2012	27.223.152	691.528,34	39,37
Média			58,27

Fonte: SLU (2010-2012) (Adaptada)

A determinação do C_v possibilitou incorporar o comportamento da geração de resíduos de varrição em função da dinâmica apresentada para cada ano. Ressalta-se que as informações coletadas sobre a quantidade de resíduos coletada no serviço de varrição a partir do ano 2013 deixou de ser registrada nos relatórios por massa e passou a ser registrada por volume.

6.2.2 Etapa 2: Quantificação dos resíduos de varrição

Para a determinação dos resíduos sólidos produzidos nas ruas, foi utilizado o C_v , extensão das ruas pavimentadas na bacia (com e sem atendimento de varrição) e a frequência de atendimento. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16- Resíduos de varrição gerados na área de estudo

Descrição / Anos simulados	Sigla	Un.	2010	2011	2012
Resíduos sólidos potenciais gerados nas ruas com varrição	RSp _v	kg	1.588,63	1.420,98	953,58
Resíduos sólidos potenciais gerados nas ruas sem varrição	RSp _{sv}	kg	801,35	569,87	307,83
Resíduos sólidos efetivamente coletados pelo serviço de varrição	RS _{fv}	kg	340,73	301,85	200,69
Resíduos sólidos totais de varrição	RS _{Tv}	kg	2.730,7	2.292,7	1.462,1

Observou-se que as quantidades simuladas de resíduos gerados nas ruas sem atendimento foram inferiores aos gerados nas ruas atendidas pelo sistema de varrição, isso devido a que para seu cálculo a extensão da rua é uma variável que possui alto grau de influência na geração em conjunto com sua frequência de varrição.

Na Tabela 15 nota-se um declínio na quantidade de resíduos total gerados no decorrer do tempo, possivelmente associado à ampliação da cobertura do serviço de varrição na zona que passou de 84,39% a 92,4% no período de 2010 ao ano 2012.

Para efeitos de verificação da análise do modelo de quantificação dos resíduos de varrição, foi feita a comparação dos valores gerados pelo modelo com os valores apresentados na Tabela 17 para a área de estudos mediante a segregação da informação dos relatórios da SLU.

Tabela 17- Verificação dos resíduos de varrição segundo dados dos relatórios da SLU

Descrição / Anos simulados	Un.	2010	2011	2012
Extensão de ruas varridas BH	km	577.257,5	648.536,5	691.528,3
Resíduos de varrição coletados BH	kg	42.511.980	40.080.930	27.223.152
Extensão ruas na área de estudo	km	37,1	37,1	37,1
Resíduos de varrição coletados área de estudo	kg	2.730,7	2.291,6	1.459,7

Fonte: SLU (2010-2012) (Adaptada)

Mediante a comparação dos resultados gerados pelo modelo e os apresentados nos relatórios da SLU (usados na verificação), observou-se que de acordo a análise do test-f, para o nível de confiança de 95% os valores não apresentaram uma variação estatisticamente significativa, o que poderia indicar que o equacionamento proposto no modelo para quantificar os resíduos gerados nas ruas consegue acompanhar a dinâmica da produção destes resíduos, uma vez que o único valor utilizado no equacionamento proveniente dos relatórios da SLU correspondeu ao C_v .

6.2.3 Etapa 3: Avaliação dos impactos potenciais na drenagem

Para a contribuição dos resíduos de coleta que podem chegar até o sistema de microdrenagem foi adotada a fração de 1% da quantidade total de resíduos gerada na área sem atendimento de coleta. Uma vez atribuído este valor, foi acrescentada a quantidade de RS_{TV} e distribuídas as bocas de lobo presentes na bacia usando as equações estabelecidas na proposição do modelo (Tabela 18).

Tabela 18- Resíduos potenciais aportados a microdrenagem na área de estudo

Descrição / Anos simulados	Sigla	Un.	2010	2011	2012
Contribuição dos resíduos de coleta	C _{RC}	kg	1.993	2.010	1.948
Resíduos sólidos totais de varrição	RS _{TV}	kg	2.730,7	2.292,7	1.462,1
Total bocas lobo existentes na bacia	BL _T	un.	416	416	416
Bocas lobo existentes nas ruas varridas com drenagem	BL _v	un.	368	364	386
Bocas de lobo nas Ruas sem varrição com drenagem	BL _{sv}	un.	48	52	30
RS aportados em cada boca de lobo nas ruas varridas	RSBL _v	kg	4,32	3,90	2,47
RS aportados em cada boca de lobo nas ruas sem varrição	RSBL _{sv}	kg	58,22	49,61	75,20

De acordo aos resultados obtidos no modelo para o ano de 2010 foi gerado um total de 2.730,7 kg de resíduos de varrição; desse valor, 29,35% corresponderam aos resíduos gerados nas áreas sem atendimento do serviço e 70,65% aos gerados nas áreas com varrição. Salienta-se que do total gerado na área de estudo apenas 12,48% foram efetivamente retirados das ruas mediante o serviço de limpeza.

Para os anos de 2011 e 2012 foi observado um aumento na geração dos resíduos de varrição das áreas com atendimento (75,14% e 78,95%), possivelmente provocado pela ampliação da cobertura de varrição onde mais trechos foram incluídos. Simultaneamente, observou-se um decréscimo nas percentagens dos resíduos gerados nas ruas sem varrição de 24,86% e 21,05%, respectivamente para cada ano.

Referente à avaliação do impacto dos resíduos de varrição sobre as estruturas de microdrenagem, verificou-se que a massa total de resíduos gerada para o arruamento sem varrição foi de 806,8 kg para o ano de 2010, 628 kg para o 2011 e 310 para o ano de 2012.

Percebe-se que houve uma nítida redução do potencial gerado nessa área a cada ano, desse modo acompanhando a evolução da cobertura do serviço de limpeza. Inesperadamente, o valor em massa por unidade de boca de lobo demonstrou um comportamento contraditório à redução mássica. Esta ocorrência possivelmente se associa aos registros de atendimento de varrição e possíveis variações nos trechos

inclusos nas rotas a cada ano, bem como o número de bocas de lobo que variou segundo a diferença de trechos.

A massa de resíduos potenciais a afluir em cada unidade de boca de lobo nas áreas sem serviço de varrição foi de 58,22 kg/BL para o ano de 2010, 49,61 kg/BL para 2011 e 75,20 kg/BL para o ano de 2012, segundo as simulações do modelo.

Nas áreas com atendimento do serviço de varrição, a quantidade de resíduos gerados pelo modelo, por unidade de boca de lobo, foram inferiores as atribuídas aos equipamentos localizados nas áreas sem varrição. Embora o total de resíduos de varrição gerados na área sem atendimento tenha sido superior, sua segregação se dá em um número maior de bocas de lobo presente na área atendida, o que proporciona uma média de massa por unidade muito inferior, que oscila entre 7 e 3% comparado a massa na estrutura de microdrenagem da área sem atendimento.

Na comparação entre a massa de resíduos por unidade de boca de lobo simulada e os valores advindos dos relatórios da SLU, pode-se verificar que os valores referentes à área sem atendimento foram os que mais se aproximaram. Destes, os valores registrados para o ano de 2010, simulado (58,22kg/BL) e o extraído do relatório (63,98 kg/BL), foram os que apresentaram maior proximidade.

Para os anos de 2011 e 2012, a comparação revelou um comportamento contrário entre valores simulados e os extraídos dos relatórios, sendo que, para o ano 2011, o modelo subestimou a massa potencial a ser aportada a boca de lobo. Já para o ano de 2012, o valor simulado foi superestimado em comparação ao extraído do relatório (Figura 17).

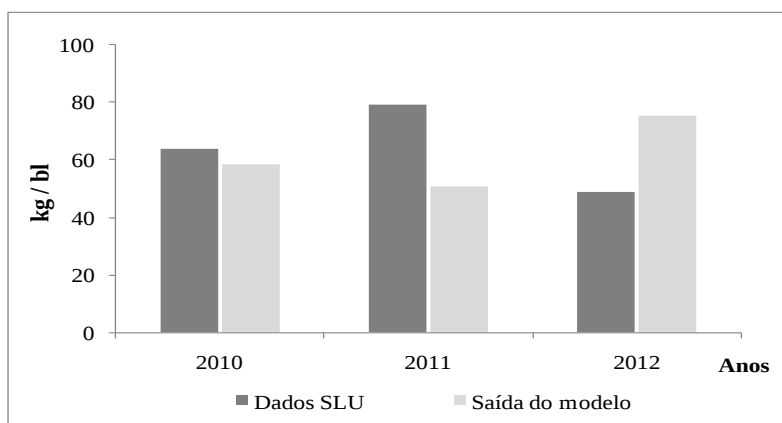


Figura 17- Resíduo aportado às bocas de lobo

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados da pesquisa, que permitiu identificar e analisar a relação entre a gestão do serviço de limpeza urbana e as variáveis que contribuem nos impactos por resíduos sólidos na drenagem pluvial.

Uma vez conhecidas as interrelações entre as variáveis, foi possível propor um modelo de predição de resíduos sólidos a afluir ao sistema de macro e microdrenagem o qual foi aplicado numa área de estudo inserida dentro da sub-bacia do córrego Engenho Nogueira na cidade de Belo Horizonte/MG.

7.1 Gestão de serviços de limpeza e gestão da drenagem urbana

Com o levantamento bibliográfico realizado foi possível identificar uma forte correlação entre a cobertura de serviços de limpeza urbana e os impactos sobre os sistemas de drenagem encontrando entre estes o acúmulo de resíduos sólidos em estruturas de macro e microdrenagem.

Os resíduos que atingem o sistema de drenagem urbana podem ser associados àqueles de origem natural como folhas, galhos, sedimentos e os de origem antrópicos, advindos principalmente de locais com onde não há disposição adequada e/ou ainda aqueles provenientes de áreas com falhas na cobertura de limpeza urbana. Tal averiguação é sustentada nos trabalhos desenvolvidos por Armitage *et al.* (1998), Marais *et al.* (2004), Barros *et al.* (2014).

Na área de estudo foi possível identificar uma falha no diálogo entre os setores responsáveis pela gestão e gerenciamento do serviço de limpeza e da drenagem urbana, sendo difícil compreender se efetivamente existe um trabalho conjunto entre as duas entidades encarregadas destes serviços de saneamento urbano, no que tange à execução de atividades de limpeza que objetivam a minimização dos impactos na drenagem associados à disposição dos resíduos sólidos. Neste sentido Gava e Finotti (2012), concluíram que a falta de gestão integrada entre os componentes de saneamento é um fator importante para a ocorrência do impacto.

De mesmo modo observações feitas por Neves e Tucci (2008b), Marais e Armitage (2004) realçam a necessidade de um planejamento para trabalho em conjunto de ações que integrem os diferentes órgãos encarregados do saneamento básico das cidades, tudo isso corrobora à existência de uma adequada gestão dos recursos hídricos que resultam na minimização de impactos diretos à população e ao meio ambiente.

7.2 Variáveis exploradas no modelo

O modelo proposto foi de caráter preditivo, que tem como objetivo quantificar a massa de resíduos que podem alcançar o sistema drenagem urbano. Trata-se de um modelo cuja predição dos RSU baseia-se nas descrições típicas das características de uma bacia urbana, incluindo neste, a população residente, e o nível de infraestrutura urbana da área, especificamente a presença de estrutura de drenagem pluvial e malha viárias pavimentadas.

Outras variáveis que também foram exploradas contemplam o nível de serviço de limpeza urbana, especificamente para as atividades de coleta domiciliar e varrição. Também incorpora os coeficientes de geração de resíduos para cada uma das atividades exploradas.

A maioria dos estudos que tratam da geração dos resíduos de coleta ou de varrição empregam o método direto de determinação, entre eles os estudos realizados por Allison *et al.* (1998), Marais e Armitage (2004), Brites *et al.* (2007), assim também como Salles *et al.* (2012) e Barros *et al.* (2014).

Observa-se que existem poucos estudos que direcionados ao desenvolvimento de modelos indiretos para a predição de resíduos sólidos, como desenvolvido por Neves e Tucci (2008), citado anteriormente.

7.3 Resultados da aplicação do modelo

A partir dos resultados gerados na aplicação do modelo foi verificado que os coeficientes de geração de resíduos, tanto para a coleta e para a varrição, podem ser considerados como um dos componentes principais para a determinação da quantidade de resíduos sólidos gerados na bacia, que associado ao nível de atendimento do serviço

resulta na mensuração do potencial de resíduos sólidos que impactam o sistema de drenagem.

Nesse sentido, dada a relevância que os coeficientes de geração de resíduos exercem no modelo, foram realizadas simulações com outros coeficientes regionais, no intuito de avaliar qual produz uma resposta mais próxima à realidade, neste caso, tendo como base as informações fornecidas pelo órgão executor da limpeza urbana.

Na tabela 19 são apresentados os resultados das simulações de geração resíduos sólidos do serviço de coleta, usando a média do coeficiente de geração *per capita* de resíduos sólidos da ABRELPE (2010-2012), da OPAS (2010) e do Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte que apresentou um coeficiente de geração *per capita* correspondente ao ano 2013 (PMBH *et al.*, 2015a). Ressalta-se que para efeito de comparação foram fixados os dados de entrada da bacia, sendo então, o único dado variável nas simulações o coeficiente de geração *per capita*.

Tabela 19- Resultado da geração de resíduos de coleta para diferentes coeficientes, considerando uma população residente de 20.280 pessoas

Descrição	Sigla	Un.	ABRELPE	OPAS-2010	PMBH <i>et al.</i> , 2015
Coeficiente de geração de resíduos sólidos <i>per capita</i>	CG _{RSU}	kg/hab.dia	1,276	0,930	0,800
RSU Totais gerados na bacia	RSU _{Tgb}	kg	9.445.278,9	6.884.098,2	5.921.804,9
Apuração dos resíduos RSU sem varrição	RSU _{sv}	kg	9.444.938,1	6.883.796,4	5.921.604,3
RSU apurados sem varrição gerados pela população atendida	RSU _{svpa}	kg	9.247.475,9	6.739.879,1	5.797.803,2
RSU apurados sem varrição gerados pela população não atendida	RSU _{svpna}	kg	197.462,2	143.917,3	123.801,0

Verifica-se que os valores de resíduos sólidos gerados a cada coeficiente aplicado apresentam variação entre si. Neste caso o maior valor encontrado esta a cargo do coeficiente da ABRELPE. Nota-se que os valores gerados pelos coeficientes da OPAS (2010) e PMBH *et al.* (2015a) apresentaram respectivamente 27,12% e 37,30% inferiores aos gerados pelo coeficiente médio da ABRELPE.

Na comparação com os dados fornecidos pela SLU (Figura 18), observou-se que o valor simulado com o coeficiente de geração *per capita* da ABRELPE foi o que mais se aproximou, sendo a diferença entre eles de apenas 7%. Enquanto que a diferença encontrada para os valores simulados com os coeficientes da OPAS (2010) e PMBH *et al.* (2015a) foram de 32,4 e 41,8%, em relação as informações da SLU.

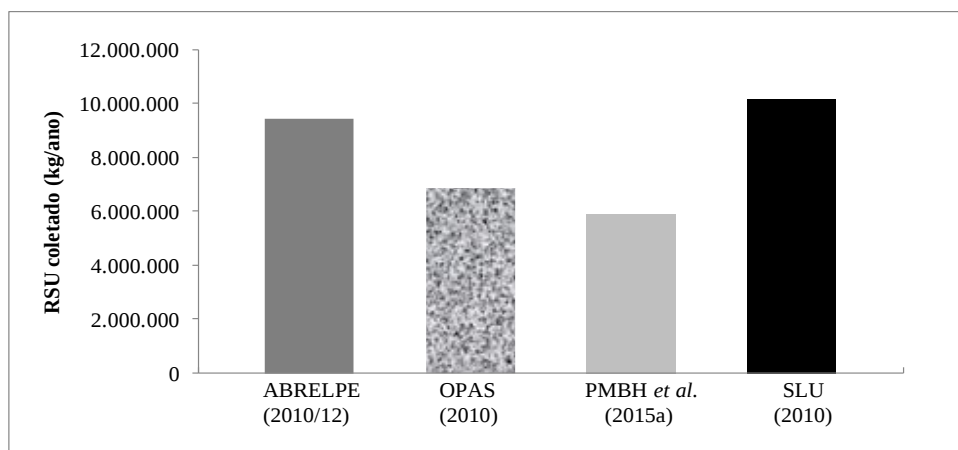


Figura 18 – Resíduos de coleta simulados e dados do relatório da SLU

A verificação dos dados simulados e reais permitiu confirmar a importância do coeficiente de geração de resíduos de coleta (*per capita*) na predição da massa total a ser gerada para determinado local em estudo. Portanto, vale ressaltar que o coeficiente de geração de resíduos sólidos, é um fator que envolve uma série de características da população, associada aos níveis sócio-econômicos, estruturas etárias, educacionais, culturais, entre outras, como abordadas nos estudos de Silva *et al.*(2012) e Pinto *et al.* (2012).

Para o melhor detalhamento, o coeficiente de geração de resíduo de coleta de um determinado local pode ser construído mediante estudos específicos que contemplem categoricamente as características da região, e que considerem uma série de dados para um delineamento mais fidedigno da geração *per capita* segundo a cada classe existente em determinado local, como demonstra Dias *et al.*(2012).

Referente ao potencial de resíduos que podem alcançar o sistema de macrodrenagem estimou-se um valor médio de 674,86 kg/ha.ano, simulados para os anos de 2010 a 2012.

Em comparação com outros estudos de quantificação direta de resíduos nas estruturas de macrodrenagem, verificou-se que o valor de massa por área, simulado no modelo proposto foi superior aos apresentados por Gonçalves (2013), Gava e Finotti (2012), Brites e Gastadini (2007) e Salles *et al.* (2011), este último que apresentou a carga máxima de resíduos na macrodrenagem correspondente a 116, 85 kg/ha.ano.

Ressalta-se que a área de estudo encontra-se inserida em uma área completamente urbanizada. As demais bacias utilizadas na comparação apresentam usos de solos mistos, entre urbanos e rurais, para estes últimos variando de 30 a 60 % do total da área considerada nos estudos.

Embora na comparação não se estabeleça uma relação direta entre área da bacia e a quantidade de resíduos aportados no sistema de macrodrenagem, as informações permitiram conjecturar a relação de outras variáveis intrínsecas de cada área de estudo que refletem na dinâmica dos resíduos depositados na drenagem.

No tocante a avaliação do coeficiente de geração dos resíduos de varrição, se estabeleceu uma média para os coeficientes utilizados na análise do impacto desse serviço sobre a microdrenagem, tendo em conta que a construção destes foi estabelecida com base nas informações fornecidas pela SLU.

No intuito de avaliar a interferência do Cv, foram mantidos os dados de entrada utilizados nas simulações para os anos de 2010 a 2012, e feito novas simulações um único coeficiente para as três situações, sendo este o coeficiente médio de geração de resíduos de varrição. Os resultados destas simulações são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20- Simulações dos resíduos de varrição a partir do C_{vm}

Descrição /Ano simulado	Un.	Sigla	2010	2011	2012
Coeficiente médio de geração de resíduos por varrição	kg/km	C_{vm}	58,27	58,27	58,27
Resíduos sólidos totais de varrição	kg	RS_{TV}	2.160,7	2.161,6	2.164,1
Resíduos sólidos potenciais gerados nas ruas com varrição	kg	RSp_v	1.257,0	1.339,8	1.411,5
Resíduos sólidos potenciais gerados nas ruas sem varrição	kg	RSp_{sv}	634,0	537,3	455,6
RS aportados em cada boca de lobo nas ruas varridas	kg/bl.ano	$RSBL_{vd}$	3,42	3,68	3,66
RS aportados em cada boca de lobo nas ruas sem varrição	kg/bl.ano	$RSBL_{sv}$	54,73	48,98	80,12

Ao utilizar o coeficiente médio nas simulações, pode-se verificar que as quantidades atribuídas como potenciais a afluir em cada unidade de boca de lobo flutuaram. Esta ocorrência indica que o potencial de resíduos que chegam a microdrenagem, embora dependa do coeficiente de geração, é fortemente influenciado pelo número de bocas de lobo presentes na área sem atendimento. Sendo que, em trechos cuja densidade de drenagem é menor, o potencial de resíduos aportados por unidade de boca de lobo tende a ser maior.

Na comparação entre potencial de resíduos a afluir a microdrenagem e os valores de resíduos por boca de lobo, fornecidos pela SLU (Figura 19), foi observado que para o ano de 2010, tanto a simulação com o coeficiente médio quanto para o coeficiente do ano correspondente, se aproximam dos dados da SLU. Para os outros anos simulados ocorrem distintas variações, sendo que para o ano de 2011, o valor da SLU foi superior aos simulados. Já para o ano de 2012, os valores simulados foram superiores aos apresentados segundo dados da SLU.

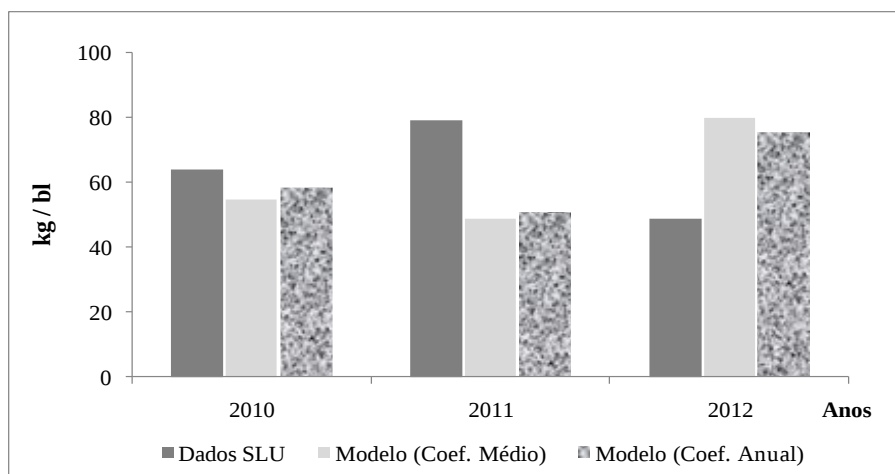


Figura 19- Massa de resíduos aportados por boca de lobo

Uma vez simulados os resíduos sólidos gerados da varrição, estimou-se o valor médio que correspondeu a 13,21 kg/há.ano, para as simulações dos anos de 2010 a 2012, na área de estudo. De acordo aos resultados obtidos, em comparação com outros estudos que quantificaram por meio de métodos diretos a quantidade de resíduos aportada ao sistema de microdrenagem, observou-se que, o valor simulado de massa por área, encontra-se abaixo da média geral, que correspondeu a 25 kg/ha.ano, conforme mostrado na Tabela 21.

Tabela 21- Resíduos sólidos potenciais a atingir a microdrenagem por unidade de área

Descrição	Área ha	Massa total de resíduos kg/ha.ano	Referência
Engenho Nogueira/MG	291	13,21	Dados pesquisa
Sorocaba/SP	45600	9,61	BARROS <i>et al.</i> (2014)
Subbacia 12/RS	192	2,25	NEVES e TUCCI (2008a)
Coburg/Australia	150	30,00	ALLISON <i>et al.</i> (1998)
Johannesburg/Africa do Sul	800	48,00	ARMITAGE <i>et al.</i> (1998)
Imizamo Yethu /Africa do Sul	5,3	8,00	MARAIS <i>et al.</i> (2004)
Ocean View /Africa do Sul	11,5	53,00	MARAIS <i>et al.</i> (2004)
Cape Town /Africa do Sul	6,3	42,00	MARAIS <i>et al.</i> (2004)
Fresnaye /Africa do Sul	25,4	62,00	MARAIS <i>et al.</i> (2004)
Summer Greens /Africa do Sul	5,3	3,00	MARAIS <i>et al.</i> (2004)
Montague Gardens/Africa do Sul	14,1	2,00	MARAIS <i>et al.</i> (2004)
Welgemoed /Africa do Sul	14,4	29,00	MARAIS <i>et al.</i> (2004)

Nota-se o valor simulado para a sub-bacia Engenho Nogueira está acima dos resultados apresentados em outros estudos realizados no Brasil e abaixo da média geral dos estudos apresentados na tabela 20 que foi de 25,2 kg/ha.ano.

Considerando que o modelo não incluiu dados relativos à precipitação, declividade das ruas e a dinâmica de transporte dos resíduos, os resultados alcançados mediante informações secundárias mostraram-se favoráveis à predição dos resíduos sólidos aportados às bocas de lobo, em áreas sem atendimento do serviço de coleta e de varrição.

7.4 Análise de sensibilidade do modelo

Buscando analisar qual o efeito da alteração das variáveis, população residente e nível de atendimento na geração de RSU do serviço de coleta domiciliar, foram realizadas simulações que consideraram dois cenários. O primeiro estimou um incremento de 10% na população residente de cada ano. O segundo cenário contemplou um decaimento de 10 % na população residente.

Os efeitos destes cenários podem ser observados nas figuras 20 e 21 que apresentam respectivamente o comportamento da geração RSU_{Tgb} e o RSU_{mad} , quando há alteração da população nas proporções mencionadas.

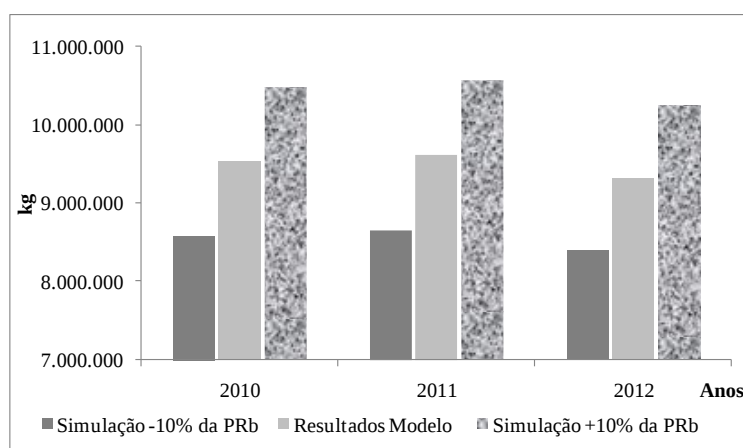


Figura 20- Resultado da RSU_{Tgb} variando a população

Observe-se que ao alterar a população o modelo responde linear e proporcionalmente a mudança efetuada, ou seja, quando se reduz em 10% a população residente, também há um decréscimo de 10% do total de resíduos gerados. Este mesmo comportamento foi observado quando há um incremento da população o que resulta no acréscimo do RSU_{Tgb} .

A variação da população também afetou linearmente a quantidade de resíduos potenciais a atingir o sistema de macrodrenagem, como pode ser observado na figura 20.

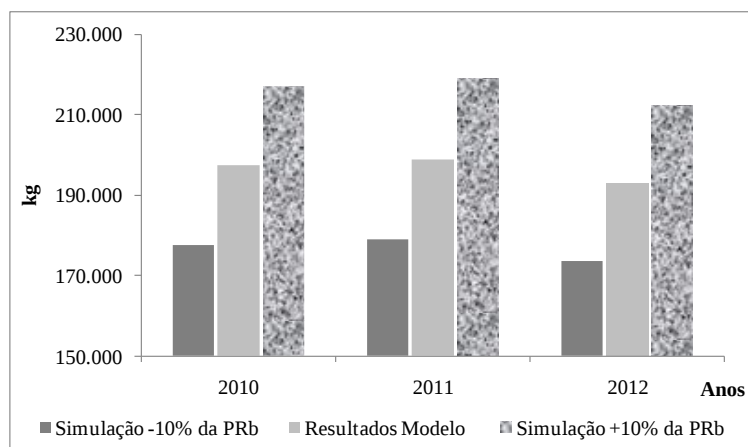


Figura 21- Resultado da RSU_{mad} variando a população

Para o nível de atendimento de coleta domiciliar de resíduos sólidos os cenários considerados foram: a situação de atendimento total do serviço de coleta (100%) e a condição de decaimento de 10% na eficiência praticada nas simulações para os anos 2010 -2012 (Figura 22).

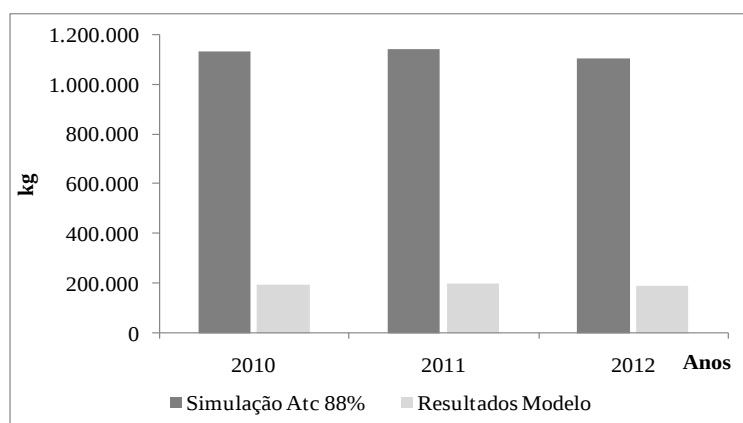


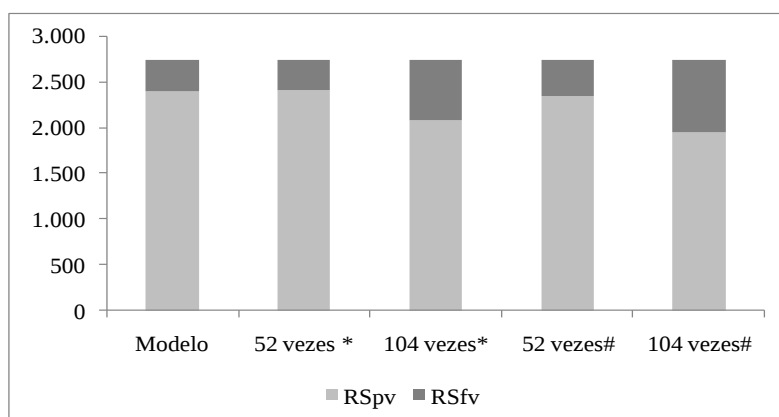
Figura 22- RSU_{mad} gerado na simulação com variação do At_c

Na simulação foi possível verificar que ao existir um At_c correspondente a 100% não há geração de resíduos potenciais a atingir a macrodrenagem. Esta resposta dada pelo modelo proposto descreve uma realidade imprecisa, pois não considera outras variáveis como, por exemplo, a população como uns dos fatores causais do problema de acúmulo de resíduos na drenagem, uma vez que a presença de atendimento total não significa que foi coletada a totalidade de resíduos gerados.

Para a simulação no cenário de redução de 10% no nível de atendimento resulta em um acréscimo de 82,6% na quantidade de resíduos aportada a macrodrenagem, o que significa que a sensibilidade do modelo é maior para a variável At_c em termo de serviço de coleta.

A análise de sensibilidade do modelo para a estimativa dos resíduos de varrição foi realizada mediante a variação da frequência de varrição nas ruas estimando para estes quatro cenários, o primeiro supondo uma varrição homogênea nas ruas atendidas apenas 52 vezes ao ano e o segundo 104 vezes ao ano.

O terceiro cenário considerou atendimento total do serviço de varrição com frequência de 52 vezes ao ano, implicando também, um acréscimo da extensão das ruas atendidas. Já para o quarto cenário se estimou também atendimento total de varrição com frequência de 104 vezes ao ano. Os resultados são apresentados nas figuras 23, 24, e 25.



* varrição somente nas ruas atendidas no modelo

atendimento total de varrição

Figura 23- Resíduos de varrição simulações ano 2010

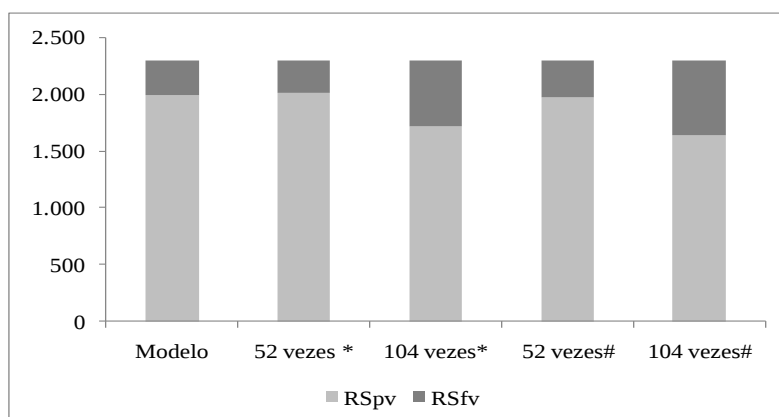


Figura 24- Resíduos de varrição simulações ano 2011

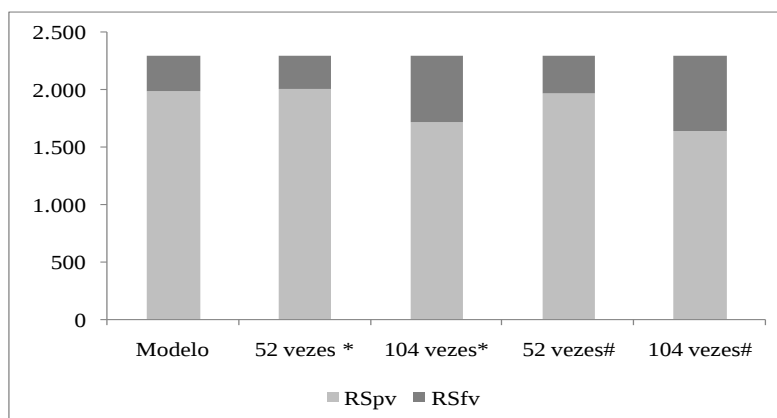


Figura 25- Resíduos de varrição simulações ano 2012

Observou-se ao analisar as simulações que a variação da frequência de varrição pode ser significativa ao aumentar ou diminuir, refletindo-se nos resíduos sólidos de varrição potenciais a ser coletados em função de sua frequência (RS_{fv}). No entanto a consideração nos 2 últimos cenários, essa variação não se mostrou tão expressiva, fato possivelmente associado a curta extensão das ruas outrora sem atendimento, assim nas condições citadas a frequência de varrição apresentou um maior impacto que o comprimento das ruas sem atendimento.

Outra das análises realizadas correspondeu ao aumento e diminuição em 10% das estruturas de bocas de lobo presentes nas ruas com e sem prestação do serviço de varrição, no intuito de avaliar se estas apresentaram influência nas quantidades de resíduos recebidos por estrutura.

Os resultados para a simulação no caso de aumentar o número de bocas de lobo presentes nas ruas varridas (Figura 26), demonstrou um comportamento linear porém inversamente proporcional, significando que a maior número de bocas de lobo, resulta em menor quantidade de resíduos que chegam a estes equipamentos.

Do mesmo modo ao diminuir o número de bocas de lobo a quantidade de resíduos por unidade de boca de lobo aumenta.

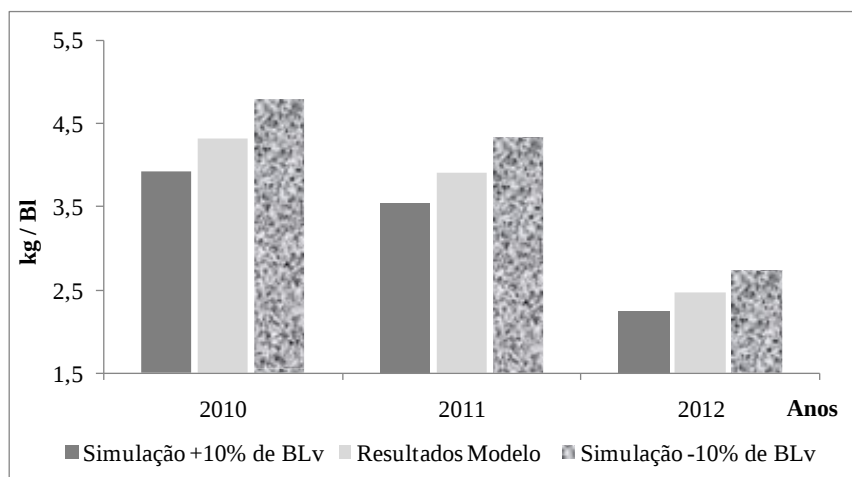


Figura 26- Quantidade de RS aportados em cada boca de lobo nas ruas varridas

Nas simulações realizadas para o aumento e diminuição em 10% de bocas de lobo localizadas nas ruas sem varrição (Figura 27) observou-se o mesmo comportamento descrito anteriormente.

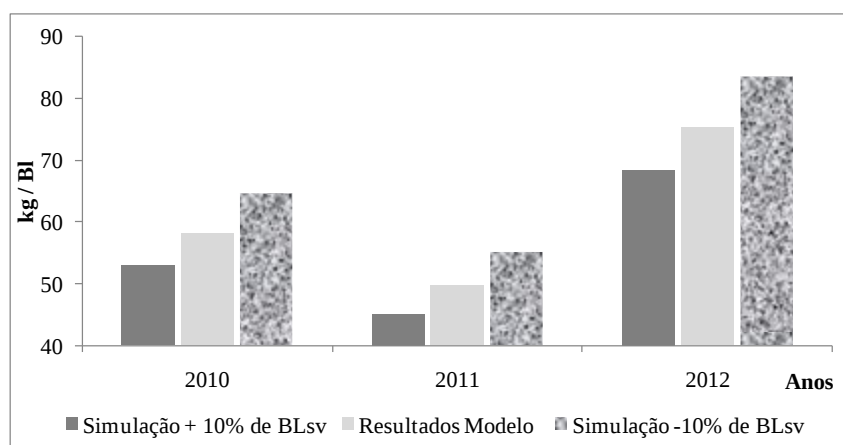


Figura 27- Quantidade de RS aportados por boca de lobo nas ruas sem varrição

De acordo com as análises realizadas das variáveis de varrição foi possível observar que a que apresentou maior sensibilidade correspondeu à frequência, de modo geral pode se dizer que o modelo é mais sensível a duas variáveis sendo uma relacionada ao nível de atendimento de coleta domiciliar e a frequência da varrição.

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Após a avaliação do modelo proposto e dos resultados obtidos no estudo de caso, pode-se concluir que os objetivos propostos foram alcançados. Acredita-se que este trabalho representa contribuição útil como uma ferramenta de auxílio na gestão integrada do saneamento, ao possibilitar predizer massa de resíduos gerada em bacias urbanas, bem como seu impacto sobre o sistema de drenagem.

O modelo proposto demonstrou ser de fácil utilização, primeiramente em função das variáveis requeridas como dados de entrada, também, pela simplicidade de aplicação, que independe da utilização de *softwares* sofisticados, podendo ser aplicada com auxílio de uma planilha eletrônica.

Em resposta ao primeiro objetivo que buscou avaliar a relação entre a gestão do serviço de limpeza urbana, a gestão da drenagem e a presença de resíduos sólidos no sistema de drenagem pluvial, foi evidenciada a falta de registros históricos da massa coletada na limpeza dos equipamentos de drenagem. No caso específico das bocas de lobo, somente foram encontrados registros de massa no período compreendido entre o ano de 2007 e 2012, a partir deste ano passou a serem registradas as informações em termo de volume.

Devido à mudança na forma de registro das quantidades de resíduos coletados na limpeza de bocas de lobo (de massa a volume), não foi possível identificar um comportamento histórico de massa coletada nestes equipamentos. Dado que afetou o estabelecimento de coeficientes mais robustos que contemplassem a tendência.

Tendo em vista que não há um planejamento integrado entre as atividades de limpeza realizadas pela SLU e a SUDECAP, esta última encarregada da limpeza do sistema de redes e galerias, que conectam a caixa coletora da boca de lobo, é impreciso avaliar as quantidades reais de resíduos sólidos que chegam ao equipamento, tendo em conta que, existe uma fração que consegue ingressar as redes de tubulações.

No tocante ao segundo objetivo proposto para esta pesquisa, foi possível concluir que a escolha das variáveis para análise de coleta (população residente, nível de atendimento, área da bacia, uso de solo) e para análise do serviço de varrição (extensão de ruas

pavimentadas, nível de atendimento e presença de estrutura de microdrenagem), permitiu cumprir satisfatoriamente o objetivo ainda que os dados de geração apresentassem diferenças entre as quantidades simuladas e os registros de massa da área.

Ressalta-se que existem diversas variáveis que incidem diretamente na geração de resíduos sólidos, estas podem ser influenciadas por outros fatores como o nível socioeconômico, fatores educacionais da população assentada na área de estudo, fiscalização das ações de despejo de resíduos em locais inadequados, influência de ações de capacitação a população quanto ao gerenciamento dos RS entre outras, não consideradas no modelo, confirmando a complexidade na escolha de variáveis. No entanto é certo que quanto maior for o nível de detalhamento das variáveis incorporadas ao modelo, melhor será a sua resposta.

A aplicação do modelo em termos de geração de resíduos de coleta mostrou-se satisfatória, pois demonstra um comportamento que acompanha com proximidade os dados reais. No entanto, no quesito de quantidade de resíduos aportados a macrodrenagem, não foi possível avaliar mediante comparação da massa aportada, devido à forma de registro que se tem dos dados da SUDECAP que é registrada apenas como volume, sem mesmo especificar a densidade considerada para o cálculo.

Em relação aos resíduos de varrição, mesmo considerando que o modelo não incluiu dados relativos à precipitação, declividade das ruas e a dinâmica de transporte, os resultados alcançados mostraram-se favoráveis a predição dos resíduos de varrição totais gerados na área de estudo, bem como o potencial aportado pelas bocas de lobo, em áreas sem atendimento do serviço de varrição.

O modelo apresentou maior sensibilidade a duas variáveis correspondendo estas ao nível de atendimento de coleta de resíduos domiciliares e a frequência da varrição, ambas relacionadas à prestação do serviço de limpeza, implicando ser passíveis de modificação e/ou melhoras dependentes da gestão e gerenciamento realizado pelos prestadores do serviço de limpeza urbana da cidade.

Diante do exposto, identificaram-se fatores que possivelmente poderiam contribuir para uma melhor apuração do modelo e assim resultar em uma representação mais fidedigna da realidade.

Assim conclui-se que o modelo pode ser visto como uma ferramenta de auxílio à decisão, no que diz ao respeito dos serviços de limpeza urbana e drenagem, permitindo identificar por meio de análise de sensibilidade onde determinadas ações podem ser aplicadas de modo a obter melhor custo benefício.

Portanto, recomenda-se a realização de estudos de campo na bacia elementar Engenho Nogueira, que permitam levantar informações primárias para o aprimoramento do modelo e reconhecimento do impacto associado aos resíduos sólidos na drenagem urbana para o caso de Belo Horizonte e assim obter uma base de dados que permitam conhecer as particularidades da dinâmica local. Pois, ao trabalhar apenas com dados secundários generaliza-se a visualização da problemática, o que pode levar a superestimação ou subestimação das quantidades de materiais aportados a cada estrutura de drenagem.

Como existe um numero elevado de municípios que não dispõem de registros referentes ao serviço de limpeza e de quantidades de resíduos removidas nos sistemas drenagem, recomenda-se avaliar qual o limite mínimo de entrada de dados no modelo que descrevam respostas, que auxiliem a tomada de decisão quanto à gestão e aplicação de recursos.

Também se recomenda a exploração outras variáveis a serem incluídas no modelo junto às informações primárias, que contemplem o fator de transporte do resíduo na bacia, como a precipitação e inclinação das ruas. Assim como fatores que influenciam na geração dos resíduos domiciliares, associados a características socioeconômicas, nível de educação, eficiência de campanhas de conscientização e das ações conjuntas entre limpeza urbana e a drenagem.

Recomenda-se aprofundar ou desenvolver um modelo que estime as quantidades e impacto de outros resíduos não considerados neste trabalho, como os RCC e aqueles que em belo horizonte são registrados como resíduos de deposição clandestina.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Norma NBR 10.004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro. 2004. 71p.

_____. Norma NBR 10.005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólido. Rio de Janeiro. 2004. 20p.

_____. Norma NBR 12.808: Resíduos de serviço de saúde. Rio de Janeiro. 1993. 2p.

ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland Programa Soluções para Cidades. PROGRAMA DRENURBS. Uma concepção inovadora dos recursos hídricos no meio urbano Belo Horizonte – MG. Belo Horizonte: ABCP. 2010.

ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2011. São Paulo. ABRELPE/ISWA, p.202. 2011.

_____. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2011. São Paulo. ABRELPE/ISWA, p.186. 2012.

_____. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2012. São Paulo. ABRELPE/ISWA, p.116. 2013.

_____. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2014. São Paulo. ABRELPE/ISWA, p. 120, 2015.

AGUIAR, J. E.; BAPTISTA, M. B. Erosões nas estruturas de concreto das galerias de águas pluviais urbana. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, v. 4, n. 1, p 70-90, 2011.

ALLISON, R.A.; WALKER, T.A.; CHIEW, F.H.S.; O'NEILL, I.C.; MCMAHON, T.A. FROM ROADS TO RIVERS - Gross pollutant removal from urban water ways.. Australia: Research Report for the Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology , 1998. 98 p.

ARAÚJO. V. S. *Gestão de resíduos especiais em Universidade. Estudo de caso da universidade Federal de São Carlos*. 2002. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

ARMITAGE, N. *The reduction of urban litter in the stormwater drains of South Africa*. The Urban Water Journal, v. 4, n. 3, p. 151 – 172, 2007.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N.O.; BARRAUD, S. Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2011. v. 1. 318p.

BAPTISTA, M. B.; CARDOSO, A. Rios e cidades: uma longa e sinuosa história. Revista da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: UFMG, v. 20, n.2, p. 124-153, 2013.

BARROS, T.R.; MANCINI, S. D.; FERRAZ, J. L. Composition and quantification of the anthropogenic and natural fractions of wastes collected from the stormwater drainage system for discussions about the waste management and people behavior. Environment, Development and Sustainability, v. 16, n. 2, p. 415–429, 2014.

BARROS. R. T. V. Tipos e Classificações de Resíduos Sólidos. In. BARROS. R.T.V Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos. Belo Horizonte: Tessitura Editora, 2012. p. 44-83.

BELO HORIZONTE. Decreto nº 4523, de 12 de setembro de 1983. Dispõe sobre a estrutura administrativa e o funcionamento de órgãos da administração direta e dá outras providências. Diário Oficial do Município de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 1983.

BIDONE, F. R. A.; TUCCI, C. E. M. Microdrenagem. In: TUCCI, C.; PORTO, La. L. R, M.; BARROS, de M. T. (Org.). Drenagem Urbana. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 1995. v. 5. 428p.

BRASIL. Lei 10.257 de 10 de julho de 2001: Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília: Congresso Nacional, 2001. p. 12.

_____. Conferencia das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento 1992. Brasília: Câmara dos Deputados, 1995. p. 471.

_____. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política nacional de resíduos sólidos 2. ed. Brasília : Câmara dos Deputados, 2012. p. 73.

BRITES, A. P. Z.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da Carga Poluente no Sistema de Drenagem de Duas Bacias Hidrográficas Urbanas. Revista Brasileira De Recursos Hídricos, v. 12, n. 4, p. 211-221. 2007.

BRÜMMER, S. Histórico dos movimentos internacionais de proteção ao meio ambiente. Revista Jus Navigandi, Teresina, ano 15, n. 2738, 30 dez. 2010. Disponível em: < <http://jus.com.br/artigos/18162>>. Acesso em: 22 abr. 2015.

CHAMPS, J.R.B.; PEREZ, S.T.C.; FRÓES, C.M.V. O Planejamento do Sistema de Drenagem Urbana na Cidade de Belo Horizonte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABES, 2001.

COLÔMBIA. Decreto 838 de 23 de marzo de 2005. Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. Bogotá: Presidência de la Republica de Colômbia. 2005. 21 p.

DANGI, M. B.; PRETZ, C.R.; URYNOWICZ, M.A.; Gerow, K.G.; Reddy, J.M. Municipal solid waste generation in Kathmandu, Nepal. Journal of Environmental Management, v. 92, n. 1, p. 240-249, 2011.

DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; BARROS, R. T. V.; MARCELO, L. Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 17, n. 3, p. 325-332, 2012.

FERNANDES, C. Microdrenagem: Um Estudo Inicial; Campina Grande: DEC/CCT/UFPB, 2002, 196p. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Dren01.html>>. Acesso em: 23 mai. 2015.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (FJP). Saneamento básico em Belo Horizonte: trajetória em 100 anos– os serviços de água e esgoto. Coleção Centenário. Belo Horizonte: SEPLAG, FJP/CEHC, 1997. 311p

GAVA, T.; FINOTTI, A. R. Resíduos sólidos urbanos na rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio do meio, Florianópolis/SC. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 1, n. 2, p. 79-101, 2012.

GONÇALVES, I. H. P. *Resíduos sólidos no sistema de drenagem urbana na bacia do arroio Tamandai em Santa Maria- RS*. 2013. 133 f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2013.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. What a waste: A global review of solid waste management. 15 ed. Washington: The World Bank, 2012. 97 p.

IBGE (Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia). Censo demográfico 2010 tabela densidade demográfica por bairros. Belo Horizonte. 2011. 7p. Disponível em: <<http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/files.do?evento=download&urlArqPlc=des-t037b.xls>> Acesso em 20 de novembro de 2015.

IPCC. (Intergovernmental Panel on Climate Change). Waste generation, composition and management data. In: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama: National Greenhouse Gas Inventories Programme. 2006. v. 5. 23 p.

JORNAL METRO. Belo Horizonte. Parcela de culpa. Jornal Metro. v. 1008, n. 5, p. 3, 29 out. 2015.

LI, Z. S.; FU, H.Z.; QU, X.Y. Estimating municipal solid waste generation by different activities and various resident groups: A case study of Beijing. Journal Science of the Total Environment, v. 409, n. 20, p. 4406 – 4414, 2011.

MARAIS, M.; ARMITAGE, N.; WISE, C. The measurement and reduction of urban litter entering stormwater drainage systems: Paper 1 - Quantifying the problem using the City of Cape Town as a case study. Water SA, v. 30, n. 4, p. 483–492, 2004.

MORAES, A. P. Dimensionamento da microdrenagem. In. ASSEMBLÉIA NACIONAL DA ASSEMAE, 45., 2015. Poços de Caldas – MG. Anais... Poços de Caldas: ASSEMAE, 2015.

MOURA, P. M.; BAPTISTA, M. B.; BARRAUD, S. Avaliação multicritério de sistemas de drenagem urbana. Revistas Rega, v. 6, n. 1, p. 31–42, 2009.

NEVES, M. G. F. P.; TUCCI, C. E. M. Composição de resíduos de varrição e resíduos carreados pela rede de drenagem, em uma bacia hidrográfica urbana. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 16, n. 4, p. 331-336, 2011.

NEVES, M. G. F. P.; TUCCI, C. E. M. Resíduos sólidos e drenagem urbana: Estudo De Caso. Revista Brasileira De Recursos Hídricos, v. 13, n. 4, p. 43-54. 2008a.

NEVES, M. G. F. P.; TUCCI, C. E. M. Resíduos sólidos e drenagem urbana: Aspectos Conceituais. Revista Brasileira De Recursos Hídricos, v. 13, n. 3, p. 125-135. 2008b.

OECD (Organization for Economic Co-operation and Development), Municipal waste. In: OECD Factbook 2014: Economic, Environmental and Social Statistics. Paris: OECD Publishing. 2014.

ONU (Organização das Nações Unidas). World urbanization prospects, Highlights. ONU: New York. 2014, 32, p.

OPAS (Organização paramericana da saude); OMS (organização Mundial da Saude); AIDIS (Asociacion Interamericana de ingenieria Sanitaria) e BID (Banco Interamericano de Desenvolvimento). Regional evaluation on urban solid waste management in latin america and the Caribbean 2010. Washington: AIDIS, 2010. p. 162.

PINTO, M.R.; PEREIRA, D. R.; FREITAS, R.C. Fatores Sociais, Econômicos E Demográficos Associados À Geração De Lixo Domiciliar Na Cidade De Belo Horizonte. REUNA, v.17, n.2, p. 27-44. 2012.

PMBH (Prefeitura Municipal de Belo Horizonte), SMOBI (secretaria municipal de obras e infraestrutura), SUDECAP (Superintendência de Desenvolvimento da Capital). Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte 2012/2015. Atualização 2014. Belo Horizonte, PMBH. 2015a. 127, p. v,1.

_____. Anexo Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte 2012/2015. Atualização 2014. Belo Horizonte, PMBH. 2015b. 127, p. v,1.

_____. Programa de recuperação ambiental de Belo Horizonte – Drenurbs suplementar, manual de execução. Belo Horizonte. 2011. 182, p.

PMBH (Prefeitura Municipal de Belo Horizonte). SLU (Superintendência de Limpeza Urbana). Relatório Anual de Atividade de Limpeza Urbana (2010). Belo Horizonte, PMBH. 2011. 68, p.

_____. Relatório Anual de Atividade de Limpeza Urbana (2011). Belo Horizonte, PMBH. 2012. 72, p.

_____. Relatório Anual de Atividade de Limpeza Urbana (2012). Belo Horizonte, PMBH. 2013. 72, p.

_____. Relatório Anual de Atividade de Limpeza Urbana (2013). Belo Horizonte, PMBH. 2014. 70, p.

_____. Relatório Anual de Atividade de Limpeza Urbana (2013). Belo Horizonte, PMBH. 2015. 82, p.

PMBH - PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Coleta de resíduos sólidos (2016). Disponível em: < http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pIdPlc=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=slu&tax=34898&lang=pt_BR&pg=5600&taxp=0& > Acesso em 4 de maio de 2016.

_____. Altitude influencia o clima da capital (2007). Disponível em: < <http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/contents.do?evento=conteudo&idConteudo=24221&chPlc=24221&termos=clima> > Acesso em 28 de maio de 2016.

_____. Extrato do Contrato SLU/DR.JUR 008/2015. Serviço Multitarefa. Diário oficial do município de Belo Horizonte, Belo Horizonte, 25 jul. 2015. Disponível em: < <http://portal6.pbh.gov.br/dom/iniciaEdicao.do?method=DetalheArtigo&pk=1146486> > Acesso em 5 de maio de 2016.

_____. Limpeza de córregos. (2012). Disponível em: < http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pIdPlc=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=slu&tax=34911&lang=pt_BR&pg=5600&taxp=0& > Acesso em 5 de maio de 2016.

_____. Varrição em Belo Horizonte (2014). Disponível em: < http://portalpbh-hm.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pIdPlc=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=slu&lang=pt_BR&pg=5600&tax=16496 > Acesso em 5 de maio de 2016.

PON, J. P.S.; BECHERUCCI, M, E. Spatial and temporal variations of urban litter in Mar del Plata, the major coastal city of Argentina. Waste Management, v. 32, n. 2, p. 343-348. 2012.

SALLES, A.; WOLF, D. B.; e SILVEIRA, G. L. Solid wastes drained in a urban river sub-basin. *Urban Water Journal*, v. 9, n.1, p. 21-28, 2012.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; diretrizes para projetos. São Paulo: SMDU, 2012. 128 p. 3 v.

SILVA, H.; BARBIERI, A. F.; MONTE-MÓR, R. L. Demografia do consumo urbano: Um estudo sobre a geração de resíduos sólidos domiciliares no município de Belo Horizonte. *Revista Brasileira de Estudos de População*, v. 29, n. 2, p. 421–449, 2012.

SILVEIRA, A. L. L. Hidrologia Urbana no Brasil. In. BRAGA, B.; TUCCI, C.; TOZZI, M. (Org.). *Drenagem Urbana: Gerenciamento, simulação, Controle*. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS /ABRH, 1998. 203 p.

SOUZA, M. F.; COELHO, M. M. P.; MOURA, P. M.; BAPTISTA, M. B.; MENEZES, M.V. Custos de manutenção de bacias de retenção para controle de cheias na cidade de Belo Horizonte - MG. In. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. *Anais...* Bento Gonçalves: ABRH, 2013.

SUDECAP (Superintendência de Desenvolvimento da Capital). *Caderno de encargos de infraestrutura urbana*. Belo Horizonte: SUDECAP. 1985. 55, p.

_____. Instrução técnica para elaboração de estudos e projetos de drenagem urbana do município de Belo Horizonte. Belo Horizonte: PMBH. 2004. 55, p.

_____. Planilha de controle de retirada de resíduos sólidos das bacias de Detenção. Belo Horizonte, SUDECAP. 2015.

TUCCI, C.E.M. Inundações Urbanas. In. TUCCI, C.; PORTO, La. L. R, M.; BARROS, de M. T. (Org.). *Drenagem Urbana*. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 1995. v. 5. 428p. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 1995. v. 5. 428p.

UE. (UNIÃO EUROPÉIA). Diretiva 2006/12/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de abril de 2006, relativa a resíduos. *Jornal Oficial da União Europeia*. L 114 de 27/04/2006. Estrasburgo: UE, 2006

APÊNDICE I

Planilha de modelagem de coleta domiciliar

	Entrada dados					
	Dados calculados					
Descrição		Sigla	2010	2011	2012	Unidade
Dados de entrada	Delimitação topográfica da área de bacia	A _b	2,91	2,91	2,91	km ²
	População residente	P _{Rb}	20.280	20.370	20.456	Hab.
	Coleta RS					
	População atendida pelo sistema de coleta	P _{Ra}	19.856	19.944	20.029	Hab.
	População NÃO atendida pelo sistema de coleta	P _{Rna}	424	426	428	Hab.
	Atendimento de coleta	At _c	0,98	0,98	0,98	%
	Coefficiente de geração de resíduos de coleta	CG _{RSU}	1,288	1,293	1,248	kg/hab.dia
Etapa 2: Segregação do potencial de RSU na área de estudo	Coleta RS					
	RSU Totais gerados na bacia	RSU _{Tgb}	9.534.105,9	9.613.384,6	9.318.270,5	kg/ano
	Coefficiente de abstração Entulho	C _E	0	0	0	%
	Coefficiente de abstração resíduos de serviço de Saúde	CR _{SS}	0	0	0	%
	Apuração dos resíduos RSU sem varrição	RSU _{aTgb}	9.533.765,2	9.613.082,8	9.318.069,8	kg/ano
	Abstração dos resíduos de Varrição	RSU _{Asv}	9.533.765,2	9.613.082,8	9.318.069,8	kg/ano
	RSU apurados sem varrição gerados pela população atendida	RSU _{svpa}	9.334.445,9	9.412.105,2	9.123.260,0	kg/ano
	RSU apurados sem varrição gerados pela população NÃO atendida (Potencial a chegar na MACRO)	RSU _{svpna}	199.319,3	200.977,6	194.809,8	kg/ano
Etapa 3: avanço do impacto dos RSU potenciais na drenagem	MACRO-DRENAGEM					
	RSU apurados sem varrição gerados pela população NÃO atendida (Potencial a chegar na MACRO)	RSU _{mad}	197.326	198.968	192.862	kg/ano.mad
	Densidade dos resíduos sólidos	ρ _{RSU}	95	95	95	
	Volume total RSU potencial a macrodrenagem	VR _{SU} _{mad}	2.098	2.116	2.051	m³/ano.mad

Planilha de modelagem de varrição

	Entrada dados
	Dados calculados

	Descrição	Sigla	2010	2011	2012	Unidade
Dados de entrada	Ruas varridas com drenagem	R_{vd}	25,23	27,00	28,43	km
	Ruas varridas sem drenagem	R_{vsd}	6,06	5,53	6,01	km
	Ruas sem varrição com drenagem	R_{svd}	2,06	1,96	1,32	km
	Ruas sem varrição sem drenagem	R_{svsd}	3,73	2,61	1,38	km
	Extensão total das ruas pavimentadas na área de estudo	R_{Ab}	37,1	37,1	37,1	km
	Atendimento de varrição	At_v	84,4%	87,7%	92,7%	%

			2010	2011	2012	
detalhamento dados de entrada	Coefficiente de geração de resíduos por varrição (registrado pela slu)	C_v Frequência de varrição	73,64	61,80	39,37	kg/km.ano
	Ruas varridas com drenagem	R_{vd} 1	24,78	25,87	27,33	kg/ano
		2	0,45	1,13	1,10	kg/ano
	Ruas varridas sem drenagem	R_{vsd} 1	5,32	4,91	5,77	kg/ano
		2	0,74	0,62	0,24	kg/ano
	Ruas sem varrição com drenagem	R_{svd} 0	2,06	1,96	1,32	kg/ano
	Ruas sem varrição sem drenagem	R_{svsd} 0	3,73	2,61	1,38	kg/ano
	Extensão total das ruas pavimentadas na área de estudo	R_{Ab}	37,08	37,10	37,14	kg/ano

Quantificação de resíduos de varrição					2010						2011						2012			
			f	R _{fV}	R _{TV}	R'p _v			Resíduos de			Resíduos de			R. total	R. Potencial				
	Frequência de		Fator	R _v coletados e	R. total gerado	R. Potencial			varrição						gerado	afluente				
	varrição		multiplicação	função da	nas ruas	na			coletados	nas ruas	na			coletados	nas ruas	na				
			frequência	frequência		drenagem														
																			Unidade	
	Ruas varridas com drenagem	R _{vd}	1	52	259,99	1824,92	1564,93		227,78	1598,82	1371,04		153,28	1075,89	922,61		kg			
			2	104	9,44	33,14	23,70		19,90	69,84	49,94		12,34	43,30	30,96		kg			
	Ruas varridas sem drenagem	R _{vsd}	1	52	55,82	391,79	335,97		43,23	303,45	260,22		32,36	227,15	194,79		kg			
2			104	15,53	54,50	38,97	10,92		38,32	27,40		2,69	9,45	6,76		kg				
Ruas sem varrição com drenagem	R _{svd}	0	0	0,00	151,71	151,71		0,00	120,95	120,95		0,00	52,12	52,12		kg				
Ruas sem varrição sem drenagem	R _{svsd}	0	0	0,00	274,69	274,69		0,00	161,30	161,30		0,00	54,17	54,17		kg				
Resíduos sólidos varrição totais		RS _{TV}		340,78	2730,75	2389,97		301,82	2292,67	1990,85		200,67	1462,08	1261,41		kg				

			2010		2011		2012	
Potencial de resíduos	Resíduos sólidos potenciais gerados nas ruas com varrição	RSp _v	1588,63		1420,98		953,58	kg
	Resíduos sólidos potenciais gerados nas ruas sem varrição	RSp _{sv}	801,35		569,87		307,83	kg

Etapa 3: avaliação do impacto dos RSU potenciais na drenagem.	MICRO-DRENAGEM		2010		2011		2012	Unidade
	Contribuição dos resíduos de coleta	C_{RC}	1.993		2.010		1.948	kg/ano
	Total Bocas Lobo existentes na bacia	$\#BL_T$	416		416		416	Un.
	Densidade de drenagem em função do arruamento	D_{dR}	11,22		11,21		11,20	BL/km
	Bocas Lobo existentes nas Rua varridas com drenagem	BL_{vd}	368		364		386	Un.
	Bocas de lobo nas Ruas <u>sem</u> varrição com drenagem	BL_{svd}	48		52		30	Un.
	Quantidade de RS aportados em cada Boca de Lobo (Rua varridas)	$RSBL_{vd}$	4,32		3,90		2,47	kg/BL.ano
	Quantidade de RS aportados em cada Boca de Lobo (Ruas <u>sem</u> varrição)	$RSBL_{sv}$	58,22		49,61		75,20	kg/BL.ano