



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
CENTRO TECNOLÓGICO

Luis Hernando Walteros Galarza

**MODELAGEM DA DINÂMICA DE SISTEMAS DE GERAÇÃO DE
RESÍDUOS NA DRENAGEM URBANA NA BACIA DO
ITACORUBI, EM FLORIANÓPOLIS – SC.**

FLORIANÓPOLIS, SC - BRASIL
ABRIL/2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
CENTRO TECNOLÓGICO

Luis Hernando Walteros Galarza

**MODELAGEM DA DINÂMICA DE SISTEMAS DE GERAÇÃO DE
RESÍDUOS NA DRENAGEM URBANA NA BACIA DO
ITACORUBI, EM FLORIANÓPOLIS – SC.**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-graduação em Engenharia
Ambiental da Universidade Federal de
Santa Catarina para obtenção do
Grau de Mestre em Engenharia Ambiental
Orientadora: Prof. Dr.^a Nadia Bernardi Bonumá

FLORIANÓPOLIS, SC - BRASIL
ABRIL/2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da
UFSC.

Galarza, Luis Hernando Walteros
"MODELAGEM DA DINÂMICA DE SISTEMAS DE GERAÇÃO DE
RESÍDUOS NA DRENAGEM URBANA NA BACIA DO ITACORUBI, EM
FLORIANÓPOLIS - SC" / Luis Hernando Walteros Galarza ;
orientadora, Prof. Dr.ª Nadia Bernardi Bonumá -
Florianópolis, SC, 2016.
173 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade
Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Ambiental. 2. Drenagem urbana. 3. Resíduos
sólidos - Sólidos Totais. 4. Dinâmica de Sistemas. 5. Bacias
hidrográficas - Brasil, Sul. I. , Prof. Dr.ª Nadia
Bernardi Bonumá . II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.
III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
CENTRO TECNOLÓGICO

**“MODELAGEM DA DINÂMICA DE SISTEMAS DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA
DRENAGEM URBANA NA BACIA DO ITACORUBI, EM FLORIANÓPOLIS – SC”**

LUIS HERNANDO WALTEROS GALARZA

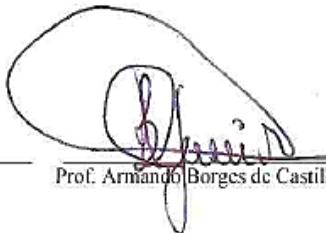
Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós – Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Aprovado por:



Prof.^a Nadia Bernardi Bonumá, Dr.^a
(Orientadora)



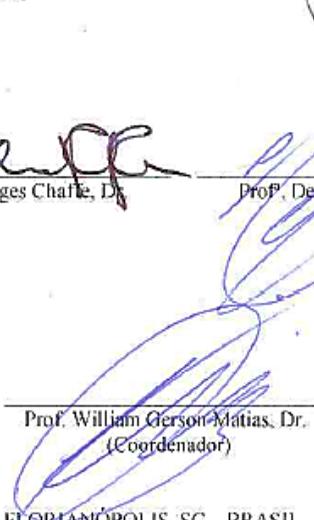
Prof. Armando Borges de Castilhos Jr., Dr.



Prof. Pedro Luiz Borges Chafie, Dr.



Prof. Delmira Bentriz Wolff, Dr.^a



Prof. William Gerson Matias, Dr.
(Coordenador)

FLORIANÓPOLIS, SC – BRASIL
ABRIL/2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Luis Walteros e Carmenza Galarza aos meus irmãos, Gustavo e Alejandro embora eles estiverem na Colômbia o meu país natal, tem sido sempre um grande apoio em cada um das minhas decisões e metas cumpridas ao longo deste tempo, pela espera e constância de aguardar a minha chegada, os quais foram meu incentivo durante todo o curso, mas infelizmente não podem estar presente para ver o resultado final.

A minha esposa Fernanda Valenzuela e meus filhos Santiago Walteros e Juliana Walteros, pelo amor, dedicação e paciência ao longo desse tempo, pelos momentos em que tive que estar ausente, especialmente nestes longos anos, em que a necessidade de trabalho privou-nos de muitas horas de convívio familiar. A sua companhia neste lindo país e espetacular cidade, ao seu apoio incondicional dedicação e suporte o qual me auxiliaram na concretização de mais uma etapa em minha vida. Aos meus sogros Nóe Valenzuela e Yolanda Mora embora de não ter perto a sua filha e seus netos, tem se convertido em pessoas de grande apoio além de mi também para eles.

Agradeço infinitamente a Lorenzo Ramos e sua esposa Victoria Queirolo além de seus filhos Martina e Facundo assim com a minha amiga Laura Caipa, pela grande amizade, carinho e companhia que tiveram comigo e com minha família e ser participes em cada passo para à obtenção desde título.

Agradeço em especial a minha orientadora Nadia Bernardi Bonumá, pela amizade, apoio e confiança demonstrada em meu trabalho, por acreditar no meu potencial, pelos ensinamentos e esclarecimento às grandes duvidas, a sua constância e paciência ao permitir-me obter conhecimentos ótimos e próprios na área de Recursos Hídricos o qual facilitarão meu desenvolvimento pessoal e profissional, e pela oportunidade oferecida de trabalhar em sua equipe no LABHIDRO.

A Patrícia Kazue Uda e Ana Clara Franco, pelo carinho, companheirismo e pelo importante auxílio ao me possibilitar o primeiro contato pratico com a Engenharia Ambiental, ao me direcionar na aplicação dos meus conhecimentos com a metodologia SIG e os diferentes ambientes hidrológicos.

A todos os amigos do LABHIDRO, pelos bons momentos no trabalho e nas horas de lazer, pela amizade e ensinamentos.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA) da UFSC e a Secretaria do PPGEA pela oportunidade e auxílio durante a realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo auxílio financeiro.

A Meguie, minha linda cachorra de estimação que fez além de sua deficiência física ajuda a que o tempo de estudo e árduo trabalho fosse muito mais amenos, aguardando assim como minha família a mia chegada a casa assim aliviando o stress, oferecendo-me companheirismo e afeto, demonstrando com isso ser uma integrante mais da minha família.

Aos membros da banca professores Pedro Chaffe, Armando Borges e Delmira Wolff, avaliadores deste trabalho, pelas valiosas sugestões e contribuições a este estudo para a melhoria deste trabalho.

E por último a todos aqueles colombianos e brasileiros que de alguma e outra forma apoiaram para a finalização dos meus projetos.

Muito obrigado!

RESUMO

A produção de resíduos sólidos tem aumentado devido ao crescimento populacional. Alguns destes resíduos atingem os corpos da água devido à falta de gestão, ocasionando frequentes transbordamentos e a contaminação do solo e da água. Estudos referentes à quantificação e qualificação dos resíduos transportados pela drenagem tornam-se relevantes para a avaliação correta do seu potencial poluidor. O presente trabalho teve como propósito analisar o comportamento da geração e transporte dos resíduos sólidos que atingem a drenagem urbana. Para realizar esta análise foi desenvolvido um modelo baseado na dinâmica de sistemas usando o software STELLA. O modelo foi testado e validado utilizando dados de uma estrutura para a coleta de resíduos montada em um córrego urbano na bacia hidrográfica do Itacorubi, localizada na cidade de Florianópolis - SC. Foi feita a simulação de um cenário, com base em estimativas locais de geração de resíduos sólidos e perda de solo das áreas urbanas, a fim de estimar a carga de sólidos totais na drenagem urbana ao longo do tempo. Foram realizadas coletas de resíduos sólidos em trinta e oito (38) eventos de precipitação, no período de abril a novembro de 2015. Os resíduos coletados foram quantificados e qualificados conforme a Resolução CONAMA 275/2001 e relacionados com os dados de precipitação pluviométrica. Durante o período de amostragem, o total precipitado foi de 1.139 mm e foram recolhidos 1.591 kg de resíduos sólidos. Cerca de 63 % do resíduos coletados consistiam de matéria orgânica e aproximadamente 37% de materiais inorgânicos, sendo que o plástico foi o material que teve maior percentual (cerca de 10%) em relação aos demais materiais inorgânicos coletados. Foi observada uma forte tendência de proporcionalidade direta entre os resíduos coletados e o total precipitado, concordando com estudos anteriores. Os resultados da modelagem estimaram um volume de sólidos totais na drenagem urbana para o primeiro ano simulado de $192 \text{ m}^3 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$ e um valor acumulado de $464.535 \text{ m}^3 \text{ km}^2$ no período 2015-2050. Os resultados sugerem que o modelo de dinâmica de sistemas desenvolvido pode ser uma ferramenta útil para ajudar os gestores na avaliação e análise de cenários sobre a geração e destinação de resíduos sólidos e sobre os impactos de práticas de gestão integrada da drenagem em bacias urbanas.

Palavras-chave: Estrutura de monitoramento, dinâmica de sistemas – DS, Stella (programa computacional), Sólidos Totais.

ABSTRACT

The production of solid waste has increased due to population growth. Some of these residues reach the bodies of water due to lack of management, causing frequent overflows and contamination of soil and water. Studies on the quantification and qualification of waste transported by draining become relevant for the correct assessment of their pollution potential. This study aimed to analyze the behavior of solid waste generation and transport in urban drainage. A model based on system dynamics was developed using the STELLA software. The model was tested and validated using data from a structure for collecting waste mounted in an urban stream in the Itacorubi basin, located in the city of Florianópolis, state of Santa Catarina, Brazil. A scenario, based on local data of solid waste generation and soil loss from urban areas, was simulated in order to estimate the total solids load in urban drainage over time. The solid waste carried by drainage in thirty-eight (38) rainfall events, from April to November of 2015, were quantified and qualified in accordance with Resolution CONAMA 275/2001 and related with rainfall data. During the sampling period, the total precipitation was 1.139 mm and 1,591 kg of solid waste were collected of which 63% consisted of organic matter and about 37% of inorganic materials. Plastic matter had the highest percentage (10%) compared to other inorganic materials collected. A strong trend of direct proportionality between the waste collected and the total precipitation was observed, in agreement with previous studies. Modeling results indicate that the total solids in urban drainage for the first year of simulation was $191 \text{ m}^3 \text{ km}^2 \text{ year}^{-1}$ and reaching $4.4872 \text{ m}^3 \text{ km}^2 \text{ year}^{-1}$ in period of 2015 - 2050. The results suggest that the developed system dynamics model can be a useful tool in order to help the managers to assess and analyze scenarios on the generation and disposal of solid waste and best management practices impacts in urban drainage.

Keywords: Structure monitoring, system dynamics - DE, Stella (computer program), Total Solids.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Comparação dos aspectos d'água no meio urbano	9
Tabela 2 Estudos de coleta de RSU na drenagem urbana no brasil	19
Tabela 3 Índices de permeabilidade do perfil.....	27
Tabela 4 Fator de uso do solo C	28
Tabela 5 Fator de práticas contra erosão	29
Tabela 6 Valores de P para alguns tipos de manejo do solo.....	29
Tabela 7 Estimativa dos sedimentos depositados na em algumas cidades brasileiras	30
Tabela 8 Descrição gráfica dos ícones no Software Stella.....	35
Tabela 9 Estudos aplicando a Dinâmica de Sistemas (DS)	38
Tabela 10 População estimada 2010 – 2015 bairros Florianópolis	55
Tabela 11 Agrupamento dos dados censitários por bairros.....	56
Tabela 12 Padrões de cores da matéria orgânica.....	61
Tabela 13 Padrões de cores da matéria inorgânica.....	62
Tabela 14 Tipos de validação de sistemas.....	67
Tabela 15 Valores percentuais dos resíduos sólidos coletados	72
Tabela 16 Massa Média, Mediana e Desvio Padrão dos resíduos coletados.....	75
Tabela 17 Total de RSU quantificados por evento de precipitação.	77
Tabela 18 EI30mensal do período 1986 a 2015	87
Tabela 19 Parâmetros físicos e químicos para cálculo da erodibilidade.	89
Tabela 20 Valores de P para a bacia do Itacorubi	93
Tabela 21 Comparativa dos resíduos coletados entre bacias diferentes bacias hidrográficas.....	102
Tabela 22 Contribuição de resíduos sólidos em função da área e do número de habitantes das bacias hidrográfica.	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Destinação final dos RSU coletados no BRASIL	16
Figura 2 Desenho esquemático das redes coletoras	22
Figura 3 Fotos das estruturas coletoras de resíduos adotados por outros autores	22
Figura 4 Representação do diagrama causal “exemplo análise da população”	34
Figura 5 Visão sistêmica da bacia hidrográfica.....	37
Figura 6 Fluxograma metodológico do estudo.....	51
Figura 7 Localização da Bacia Hidrográfica do Itacorubi, Florianópolis-SC.	52
Figura 8 Localização do ponto de coleta.....	54
Figura 9 Estrutura de retenção de resíduos sólidos instalada no Rio do Meio	58
Figura 10 Estufa de secagem - LARESO	59
Figura 11 Balança de pesagem - LARESO	59
Figura 12 Coleta dos resíduos sólidos	60
Figura 13 Disposição dos resíduos sólidos na estufa do LARESO para sua secagem e escoamento do excesso de umidade	61
Figura 14 Diagrama causal da problemática geral da bacia hidrográfica do Itacorubi, Florianópolis (SC).	64
Figura 15 Precipitação diária no período monitorado	71
Figura 16 Variação Percentual dos resíduos coletados conforme classificação em padrão de cores.....	73
Figura 17 Uniformidade média aritmética (\bar{x}) \pm erro padrão (ep).....	75
Figura 18 Correlação entre massa de RSU drenados e a precipitação pluviométrica durante os eventos	79
Figura 19 DS setor geração dos resíduos sólidos	80
Figura 20 Resultados gerados pelo Software Stella no setor geração de resíduos sólidos	81
Figura 21 DS do setor de poluição	82

Figura 22 Resultados gerados pelo Software Stella carga de poluição inicial	83
Figura 23 Resultados gerados pelo Software Stella no setor de poluição difusa (1) e pontual (2)	84
Figura 24 Resultados gerados pelo Software Stella no setor de poluição da carga poluente.....	85
Figura 25 DS do setor estimativa de erosão de solo pela RUSLE	86
Figura 26 Precipitação anual e média anual entre 1986 e 2015	87
Figura 27 Correlação entre erosividade mensal (EI30) e precipitação média mensal, do município de Florianópolis no tempo analisado.	88
Figura 28 Comprimento de rampa (Flow Accumulation).....	90
Figura 29 Mapa Declividade média da encosta (<i>Slope</i>).....	91
Figura 30 Distribuição do uso e ocupação do solo - Fator C	92
Figura 31 Mapa Fator P	93
Figura 32 Resultados de Sedimentos Totais Gerados pela Perda do Solo (STotGPS) simulados no Software Stella.....	94
Figura 33 DS do setor de caracterização e quantificação dos resíduos sólidos: a) Resíduos inorgânicos; b) Resíduos orgânicos	95
Figura 34 Resultados gerados pelo Software Stella no setor de caracterização e quantificação material inorgânico (1) e orgânico (2)..	96
Figura 35 DS do setor estimativo dos resíduos não coletados	97
Figura 36 Resultados gerados pelo Software Stella resíduos não coletados	98
Figura 37 DS setor Sólidos Totais Gerados	99
Figura 38 Resultados gerados pelo Software Stella sólidos totais gerados.....	100

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição	Unidade
A	Perda anual de solo do solo	ton/ha/ano
R	Fator de Erosividade	$MJ^{-1}ha^{-1}(mm/h)$
K	Fator de Erodibilidade	$ton/MJ^{-1}ha^{-1}(mm/h)$
LS	Fator de declividade	adimensional
C	Fator de cobertura do solo	adimensional
P	Fator de pratica de cultura contra erosão	adimensional
EI_{30}	Índice de erosão mensal	$MJ\ mm\ ha^{-1}\ mês^{-1}$
p^2	Volume da precipitação mensal	mm
a& b	Constantes de regressão	
ka	Matéria orgânica	(%)
kb	Código da estrutura	
kc	Classe de permeabilidade do perfil	
s	Declividade média da encosta	(%)
Lx	Comprimento da rampa	(m)
λ	Comprimento da rampa	(m)
\square	Declividade da rampa / encosta	(°)
B	Razão entre a erosão por sulco	
T	Estoque no tempo	
t	Tempo	
dt	Intervalo do tempo	
$C_{PopEsgoto\ ou\ Col}$	Coefficiente da população não atendida pela rede de esgotamento sanitário	
%PopEsgoto	Percentual da população sem serviço de esgoto	(%)
%PopColeta	Percentual da população sem serviço de coleta	(%)
C_{es}	Coefficiente de escoamento	
AI	Área impermeabilizada	
Dh	Densidade demográfica	
hab	Habitantes	
ha	Hectares	
In	Logaritmo natural	
%LigIndevida	Percentual de ligações indevidas	
Cret	Coefficiente de retorno	
ndias	Numero de dias	

Qhab	Valor médio de consumo d'água per capita da população	
VolEfluentes	Volume total de efluentes	
ST	Sólidos Totais	mg/L
L	Carga de poluição	kg
P	Chuva anual ou no intervalo desejado	mm
Pj	Fração da chuva que produz runoff	
Rv	<i>Runoff</i> volumétrico	
A	Área	ha
C	Carga de poluição da concentração média	mg/L
r	Coefficiente de correlação	
r ²	Coefficiente de determinação	
x	Média aritmética	
σ	Desvio padrão	
N	Número de amostras	
\bar{x}	Média aritmética	
t	Valor distribuição tabela t student	
IC	Intervalo de confiança	
STotGPS	Sedimentos Totais Gerados pela Perda do Solo	ton hab ⁻¹ ano ⁻¹

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
BH	Bacia Hidrográfica
BHI	Bacia Hidrográfica do Itacorubi
BHI	Bacia Hidrográfica do Itacorubi
CASAN	Companhia catarinense e águas e saneamento
CIRAM	Centro de informações de recursos ambientais e de hidrometeorologia de Santa Catarina
CNPQ	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DS	Dinâmica de Sistemas
EMDAT	Emergency Disaster Data base
EPAGRI	Empresa de pesquisa da agricultura e da pesca e extensão rural de Santa Catarina
EPI	Equipamento de proteção individual
FUNASA	Fundação nacional da saúde
IBGE	Instituto brasileiro de geografia e estatística
ISEE Systems	Stella Simulation Software
LABDREN	Laboratório de Drenagem - UFSC
LABHIDRO	Laboratório de hidrologia
LARESO	Laboratório de resíduos sólidos – UFSC
NBR	Normas Brasileiras
NURP	National Urban Runoff Program
PC1	Ponto de coleta 1
PMISB	Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico do Município de Florianópolis
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios
PNSB.	Plano Nacional de Saneamento Básico
PPGEA	Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental
RS	Rio Grande do Sul
RSD	Resíduos Sólidos Drenados
RST	Resíduos Sólidos Totais
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos

RUSLE	Equação universal de perda do solo revisada
SC	Santa Catarina
SEBRAE/SC	Serviço de apoio às micro e pequenas empresas Santa Catarina
SIG	Sistema de informação geográfica
SIM	Ministério da Saúde
SNIS	Sistema Nacional de Informações de Saneamento
SP	São Paulo
STELLA	Software computacional – Dinâmica de sistemas
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
USEPA	United States Environmental Protection Agency: Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos
VENSIM	Software computacional – Dinâmica de sistemas

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS	5
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	5
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3.	REVISÃO DA LITERATURA	7
3.1.	GESTÃO DAS ÁGUAS URBANAS.....	7
3.2.	SÓLIDOS TOTAIS E A DRENAGEM URBANA	12
3.3.	RESÍDUOS SÓLIDOS.....	14
3.3.1.	Estudo dos resíduos sólidos na drenagem urbana	18
3.3.2.	Classificação dos resíduos sólidos na drenagem.....	19
3.3.3.	Mecanismos de retenção dos resíduos sólidos	21
3.3.4.	Curva de previsão de resíduos sólidos drenados	23
3.4.	EROSÃO E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	23
3.4.1.	Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE)	24
3.4.2.	Estimativa dos sedimentos depositados na drenagem urbana	30
3.5.	DINÂMICA DE SISTEMAS	32
3.5.1.	Elementos Básicos da dinâmica de sistemas	33
3.5.2.	Processo de aplicação da dinâmica de sistemas	35
3.5.3.	Visão sistêmica de uma Bacia Hidrográfica.....	36
3.5.4.	Aplicação da dinâmica de sistemas nos processos de erosão e perda do solo na produção de sedimentos em bacias hidrográficas	39
3.5.5.	Aplicação da dinâmica de sistemas na estimativa de poluição das águas	41
3.5.6.	Aplicação da dinâmica de sistemas na estimativa da carga poluente avaliado pelo Método Simples de Schueler.....	44
3.5.7.	Medidas de combate à poluição difusa e pontual.....	47

4. MATERIAIS E MÉTODOS	49
4.1. ÁREA DE ESTUDO	52
4.2. LOCAIS E ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO	53
4.3. DADOS CENSITÁRIOS.....	54
4.3.1. Estimativa do volume de efluentes na rede pluvial.....	56
4.3.2. Consumo d'água per capita	57
4.4. COLETA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	57
4.4.1. Estrutura de retenção dos resíduos sólidos urbanos	57
4.4.2. Monitoramento dos Resíduos Sólidos	60
4.5. MODELAGEM DA DINÂMICA DE SISTEMAS.....	62
4.5.1. Diagrama causal	63
4.6. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO	65
4.7. METODOLOGIA DE TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS.....	68
4.8. CURVA DE PREVISÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DRENADOS.....	69
4.9. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	70
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
5.1. MONITORAMENTO DOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	71
5.2. MODELAGEM DA DINÂMICA DE SISTEMAS.....	79
5.2.1. DS setor geração dos resíduos sólidos.....	80
5.2.2. DS setor estimativo poluente.....	81
5.2.3. DS setor estimativa da perda do solo.....	85
5.2.4. DS Caracterização e Quantificação do RSU	94
5.2.5. DS Setor estimativa de resíduos não coletados	96
5.2.6. DS setor Sólidos Totais Gerados	98
5.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	101
5.3.1. Resíduos sólidos coletados	101
5.3.2. Sedimentos na drenagem urbana	105

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	107
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
Apêndice A - Quantificação dos resíduos coletados na rede de retenção (Kg) e precipitação pluviométrica (mm) no Rio do Meio.....	125
Apêndice B – Formulação matemática do modelo DS desenvolvido	127
Apêndice C – Valores gerados em cada setor após a simulação	137
Apêndice D – Correlação material retido em função dos eventos de precipitação.	143
Apêndice E - Gráficos comparativos de correlação entre resíduos sólidos drenados e a precipitação total para diferentes bacias.	149

1. INTRODUÇÃO

Os processos de urbanização exercem influência significativa sobre os rios urbanos podendo provocar o aumento da magnitude e frequência das inundações, erosão das margens e deslizamento de encostas e a degradação da qualidade d'água. Os problemas associados com o lançamento de efluentes e resíduos domésticos e a poluição difusa em bacias urbanas são desafiadores, pois representam uma área de interface entre os recursos hídricos e o saneamento. Segundo Tucci (2002) os problemas como impacto ambiental, saúde pública e contaminação dos corpos d'água e do solo, são integrados, apesar do mesmo não ocorrer com a gestão, pois grande parte dos problemas está relacionada com a forma setorial como a mesma é realizada.

Um dos maiores desafios com que se defronta a sociedade moderna é o equacionamento da produção excessiva e da disposição final ambientalmente segura dos resíduos sólidos. A preocupação mundial em relação aos resíduos sólidos, em especial os domiciliares, tem aumentado ante o crescimento da produção, o gerenciamento inadequado e a falta de áreas de disposição final (Jacobi, 2011). Grande parte desses resíduos acaba ficando depositado em encostas e nas margens dos cursos d'água oferecendo riscos de poluição, obstruindo o escoamento dos rios urbanos, produzindo distúrbios ao funcionamento hidráulico de estruturas de drenagem e agravando a incidência de inundações.

A importância de quantificar e reter parte do material transportado nos sistemas de drenagem está nos prejuízos que este vem a causar, tanto no que se refere à obstrução de redes, quanto às elevadas cargas de poluentes que se encontram agregadas junto aos mesmos, além de permitir a análise de adequadas soluções de controle (Brites, 2007).

O monitoramento de recursos hídricos em zonas urbanas constitui uma técnica importante para buscar soluções para um melhor gerenciamento de bacias hidrográficas urbanas. Faz-se necessário um bom conhecimento dos componentes do ciclo hidrológico urbano e do processo precipitação pluviométrica para se realizar um bom planejamento urbano.

Modelos hidrossedimentológicos e de qualidade d'água vem sendo utilizados para auxiliar na gestão dos recursos hídricos (Bonumá

et al., 2015), entretanto a quantidade de elementos necessários para descrever o comportamento das variáveis envolvidas pode dificultar o entendimento do sistema como um todo. Além disso, a modelagem dos escoamentos em áreas urbanas é ainda mais complexa em razão da diversidade da ocupação urbana, da interface entre o escoamento à superfície e escoamentos em redes de canais subterrâneos de drenagem, de mudanças sucessivas de regimes de escoamento, da presença de resíduos sólidos e de sedimentos no escoamento (Nascimento e Heller, 2005).

A modelagem da dinâmica de sistemas tem por objetivo estudar sistemas complexos considerando todos seus elementos constituintes simultaneamente. Assim, a dinâmica de sistemas permite a construção de modelos que trazem uma análise cuidadosa dos elementos do sistema considerando características importantes como avaliação das variáveis, desenvolvimento de estratégias, tomada de decisões e planejamento de cenários reais (Forrester, 2011). Winz *et al.* (2009) ressaltam que os modelos de dinâmica de sistemas podem ser utilizados para resolver de forma dinâmica os complexos problemas relacionados com a gestão de recursos hídricos.

No Brasil, alguns estudos foram realizados para quantificar os resíduos sólidos na drenagem urbana a fim de analisar as principais características que influenciam no surgimento dos resíduos sólidos na rede de drenagem implantando estruturas de monitoramento em diferentes seções de rios os quais serviram para coletar os resíduos veiculados (Brites, 2007; Neves e Tucci, 2011; Salles, 2010, Gava, 2012; Gonçalves, 2013).

Outros estudos tem demonstrado o potencial de uso de modelos de dinâmica de sistemas para avaliação do impacto na gestão de resíduos sólidos em função do crescimento da população, e assim avaliar possíveis cenários no comportamento futuro e na geração e eliminação de resíduos sólidos urbanos em diferentes áreas (Simonetto e Löbler, 2012) e para a gestão de recursos hídricos em bacias brasileiras (Neto *et al.*, 2006; Oliveira, 2006; Sanchez *et al.*, 2009; Souza *et al.*, 2012) a fim de servir como avaliação de parâmetros chamados de indicadores, os quais permitirem uma compreensão dos problemas existentes em áreas de impactos ambientais e os quais possibilitem auxiliar aos gestores ambientais.

Neste sentido, é proposta uma forma de monitoramento e quantificação dos resíduos sólidos na drenagem de uma bacia com

características urbanas, localizada na região central da ilha de Florianópolis no estado de Santa Catarina. A bacia hidrográfica do Itacorubi conformada pelos dois tributários principais, rio Itacorubi e rio do Sertão. Dentro da bacia do Itacorubi encontramos a bacia do Campus da UFSC de terceira ordem com um sistema de drenagem natural e conformado pelo rio do Meio. Dito afluente da bacia da UFSC o exutório deságua no manguezal do Itacorubi.

Por meio de uma estrutura implantada no leito da drenagem do rio do Meio, realizou-se a retenção e caracterização dos resíduos carreados pelo escoamento d'água. Foi criado um modelo de dinâmica de sistemas para a interpretação dos dados em um horizonte de tempo de 35 anos e assim poder estimar o comportamento e quantidade de sedimentos gerados pela perda do solo utilizando a ferramenta da RUSLE, e a produção de Sólidos Totais transportados pela rede de drenagem urbana analisada.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar a relação entre a incidência da precipitação, a produção e o transporte de resíduos sólidos e sedimentos na drenagem urbana por meio da modelagem da Dinâmica de Sistemas tendo como estudo de caso a bacia hidrográfica do Itacorubi, localizada em Florianópolis – SC.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Instalar um sistema de monitoramento para quantificação e qualificação dos resíduos sólidos veiculados pela rede de drenagem na bacia do Itacorubi, localizada em Florianópolis-SC;
- Desenvolver um modelo baseado na Dinâmica de Sistemas (DS) para analisar as relações entre a precipitação e o transporte de sedimentos e resíduos sólidos na rede de drenagem;
- Analisar a tendência do comportamento futuro dos sólidos totais veiculados pela drenagem urbana com base em dados atuais da bacia hidrográfica do Itacorubi.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. GESTÃO DAS ÁGUAS URBANAS

O crescimento urbano nos países em desenvolvimento tem sido realizado de forma insustentável, com deterioração da qualidade de vida e do meio ambiente. Este processo é ainda mais significativo na América Latina onde a população urbana é 77% do total (47,2% a nível mundial). Existem 44 cidades na América Latina com população superior a 1 milhão de habitantes (de um total de 388 cidades do mundo). Cerca de 16 Megacidades (acima de 10 milhões de habitantes) se formaram no final do século vinte, representando 4% da população mundial sendo que pelo menos quatro destas cidades estão na América Latina, representando mais de 10% da população da região (Tucci, 2005).

A preocupação do homem com a conservação dos recursos naturais e com a degradação ambiental tem aumentado consideravelmente nos últimos tempos. A educação ambiental exerce um papel muito importante, pois desperta cada integrante para a ação em busca de soluções para os problemas ambientais que ocorrem no dia-a-dia (PEREIRA, 2003).

Em 1997, a Lei n. 9433, baseada em experiências existentes no próprio país e no modelo francês, criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH) e instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), esta ultima com os objetivos de assegurar a sustentabilidade do recurso hídrico para as gerações futuras e atuais, garantir a qualidade da água e propor um uso racional do recurso com vistas ao desenvolvimento sustentável (FERNANDES, 2002).

A escassez de água é um problema mundial que poderá afetar gerações futuras, caso não haja profunda conscientização da necessidade da conservação desse insumo. A quantidade de água existente em uma região é constante, mas os seus consumidores não. Portanto, a disponibilidade reduz à medida que a população e/ou atividades industriais aumentam. Nos últimos 50 anos a demanda de água aumentou seis vezes. Em contrapartida, a população mundial cresceu apenas três vezes (KELMAN, 2003). Esse problema pode ser agravado com a poluição dos corpos d'água (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

O desenvolvimento urbano envolve a implementação de infraestrutura de abastecimento d'água, coleta e tratamento do esgoto, drenagem urbana, coleta e disposição de resíduos sólidos e limpeza pública. Sua gestão inadequada é uma das causas da perda de qualidade de vida e dos impactos ambientais crescentes nas cidades, sobretudo nos países em desenvolvimento (Neves e Tucci, 2008). O planejamento de atividades urbanas relacionadas à água deve estar vinculado ao próprio planejamento urbano, integrando a gestão de recursos hídricos e o saneamento ambiental (Pompêo, 2000).

A intensa urbanização vem aumentando a demanda pela água, ampliando a descarga de recursos hídricos contaminados e com grandes demandas para o abastecimento e desenvolvimento econômico e social (Tucci, 2008). As águas urbanas geralmente incluem abastecimento d'água e saneamento. Nessa perspectiva, o saneamento envolve a coleta de tratamento de efluentes domésticos e industriais, mas não inclui drenagem urbana nem a gestão dos resíduos sólidos, porque ainda perdura uma visão desatualizada da gestão d'águas urbanas da cidade (Tucci, 2008).

O estado de Santa Catarina apresenta sérias limitações em relação aos serviços básicos de saneamento, conforme ressaltado por Pompêo (2000), praticamente não existem sistemas para tratamento de esgotos, disposição adequada de resíduos sólidos e drenagem urbana, suficientes para suprir as necessidades mais básicas em uma quantidade específica de pessoas.

A Tabela 1 apresenta uma comparação dos cenários de desenvolvimento dos aspectos d'água no meio urbano em países em desenvolvimento e o Brasil. Nos países desenvolvidos o abastecimento d'água e o tratamento de esgoto e controle quantitativo da drenagem urbana estão de forma geral resolvido através de mecanismos de investimentos e legislação. Na drenagem urbana e nas inundações ribeirinhas foi priorizado o controle através de medidas não estruturais (legais) que obrigam a população a controlar na fonte os impactos devido à urbanização. O principal problema nos países desenvolvidos é o controle da poluição difusa devido às águas pluviais urbanas e rurais (Tucci, 2004).

Tabela 1 Comparação dos aspectos d'água no meio urbano

Infraestrutura urbana	Países desenvolvidos	Brasil
Abastecimento d'água	Resolvido, cobertura total.	Grande parte atendida, tendência de redução da disponibilidade devido à contaminação, grande quantidade de perdas na rede.
Esgotamento sanitário	Grande cobertura na coleta e tratamento	Falta de rede e estações de tratamento; as que existem não conseguem coletar esgoto como projetado.
Resíduo sólido	Sistema de coleta e disposição adequado; medidas de controle na fonte quanto ao resíduo na drenagem, baixa produção de resíduo urbano.	Sistema de coleta limitado à cidade formal, disposição limitada; sem medidas de controle na drenagem e alta produção de resíduo urbano.
Drenagem urbana	Controlados os aspectos quantitativos; desenvolvimento de investimentos para controle dos aspectos de qualidade da d'água.	Grandes inundações devido a ampliação de inundações; controle que agrava as inundações através de canalização; aspectos de qualidade d'água nem mesmo foram identificados.
Inundações ribeirinhas	Medidas de controle não estruturais, como seguro e zoneamento de inundação.	Grandes prejuízos por falta de política de controle.

Os impactos observados na rede de drenagem como resultado da urbanização, segundo Tucci e Collischonn (1998) são, principalmente: elevação das vazões máximas, devido ao aumento da capacidade de escoamento por meio de condutos e canais e a impermeabilização das superfícies; o aumento da produção de sedimentos devido à falta de proteção das superfícies e a produção de resíduos sólidos; a deterioração da qualidade d'água, em decorrência da

lavagem das ruas, o transporte de material sólido e as ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial.

Para Tucci (2008) o planejamento urbano é realizado para a cidade formal, e para a cidade informal são analisadas tendências dessa ocupação. Os principais problemas relacionados com a infraestrutura d'água no ambiente urbano são:

- **Falta de tratamento de esgoto:** grande parte das cidades brasileiras não possui tratamento de esgoto e lança os efluentes na rede de esgotamento pluvial, que escoam pelos rios urbanos.
- Outras cidades optaram por implantar **redes de esgotamento sanitário (muitas vezes sem tratamento)**, mas não implementaram a rede de drenagem urbana, sofrendo frequentes inundações com o aumento da impermeabilização.
- **Ocupação do leito de inundação ribeirinha**, sofrendo frequentes inundações.
- **Impermeabilização e canalização dos rios urbanos com aumento da vazão** de cheia e sua frequência; aumento da carga de resíduos sólidos e da qualidade d'água pluvial sobre os rios próximos das áreas urbanas.
- **Deterioração da qualidade d'água por falta de tratamento dos efluentes** tem criado potenciais riscos ao abastecimento da população em vários cenários, e o mais crítico tem sido a ocupação das áreas de contribuição de reservatórios de abastecimento urbano que, eutrofizados, podem produzir riscos à saúde da população.

A Lei 11.445/07 (BRASIL, 2007) considera saneamento básico como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento d'água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo de d'águas pluviais urbanas. Este conceito é reforçado pela Fundação Nacional da Saúde (FUNASA, 2007), como “o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar salubridade ambiental, por meio de abastecimento d'água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas, com a finalidade de proteger e melhorar as condições de vida urbana e rural”.

Os componentes citados possuem uma forte interface entre si, impelindo o desenvolvimento urbano com base na gestão integrada. Os problemas são integrados, apesar do mesmo não ocorrer com a gestão, pois grande parte dos problemas está relacionada com a forma setorial como a mesma é realizada (Tucci, 2002).

À medida que os países em desenvolvimento se tornam mais desenvolvidos, a geração de resíduos urbanos aumenta. Infelizmente poucos países têm a infraestrutura para remover estes resíduos que acabam contaminando os cursos de d'água (Armitage e Rooseboom, 1999).

Estes resíduos quando chegam à drenagem produzem impactos ambientais à jusante e reduzem a capacidade do escoamento, aumentando a frequência das inundações. Quanto mais ineficiente for o sistema de coleta de resíduos de uma cidade, maior é o ônus para o sistema de drenagem. Portanto, é necessário desenvolver um sistema de eficiência que integre a drenagem e coleta dos resíduos e limpeza urbana, descarte inadequado, educação sanitária e ambiental e comportamento da população. A grande produção de resíduos na drenagem ocorre principalmente após alguns dias sem chuva. Quando a chuva ocorre, a carga é muito alta. Portanto, o planejamento da limpeza urbana antes dos dias chuvosos é uma prática fundamental para reduzir a quantidade de material sólido na drenagem (Tucci, 2005).

A gestão e a disposição inadequada dos resíduos sólidos causam impactos socioambientais, tais como degradação do solo, comprometimento dos corpos d'água e mananciais, intensificação de enchentes, contribuição para a poluição do ar, proliferação de vetores de importância sanitária nos centros urbanos e catação em condições insalubres nas ruas e nas áreas de disposição final (Besen et al., 2010 apud Jacobi, 2011).

Os resíduos sólidos coletados que permanecem depositados em encostas, talwegues e áreas úmidas oferecem riscos de poluição física, química e microbiológica, e produzem distúrbios no funcionamento hidráulico de estruturas de drenagem quando mobilizados e transportados por águas de escoamento pluvial (Nascimento e Heller, 2005).

Além da problemática do aumento de inundações, a disposição inadequada de resíduos sólidos pode aumentar a vulnerabilidade a desastres naturais em áreas urbanas. Conforme destaca Farah (2003)

dentre as principais ações que se traduzem em alterações das encostas naturais, está a deposição de materiais estranhos ao terreno natural (principalmente resíduo e/ou entulho), caracterizando sobrecargas, principalmente quando encharcados, e com comportamento geotécnico que pode afetar o terreno original.

3.2. SÓLIDOS TOTAIS E A DRENAGEM URBANA

Segundo Neves e Tucci (2008), os dois tipos principais de sólidos na drenagem urbana são os sedimentos, vegetação, pedras entre outros gerados pela erosão do solo, em razão do efeito da precipitação e do sistema de escoamento, e os resíduos sólidos produzidos pela população. A soma desses dois componentes é chamada de Sólidos Totais.

De acordo com Tucci (2008) no desenvolvimento urbano, são observados alguns estágios distintos da produção de material sólido na drenagem urbana, como seguem:

- a) **Estágio de pré-desenvolvimento:** a bacia hidrográfica naturalmente produz uma quantidade de sedimentos transportada pelos rios devido às funções naturais do ciclo hidrológicos;
- b) **Estágio inicial de desenvolvimento urbano:** quando ocorre modificação da cobertura da bacia, pela retirada da sua proteção natural, o solo fica desprotegido e a erosão aumenta no período chuvoso, aumentando também a produção de sedimentos.
- c) **Estágio intermediário:** parte da população está estabelecida, ainda existe importante movimentação de terra devido a novas construções. Em função da população estabelecida existe também uma parcela de resíduos sólidos que se soma aos sedimentos;
- d) **Estágio de área desenvolvida:** nesta fase praticamente todas as superfícies urbanas estão consolidadas, resultando uma produção residual de sedimentos em função das áreas impermeabilizadas, mas a produção de resíduo urbano chega ao seu máximo com a desificação urbana.

O impacto na drenagem é devido à obstrução do escoamento, e o impacto no ambiente é devido a sua degradação. O material sólido

urbano não coletado representa subsídio ambiental recebido pela sociedade que polui este sistema. O volume de resíduos sólidos que chega à drenagem depende da eficiência dos serviços urbanos e de fatores como os seguintes: frequência e cobertura da coleta de resíduo, frequência da limpeza das ruas, reciclagem, forma de disposição dos resíduos pela população e a frequência da precipitação (Tucci, 2004).

A gestão dos sólidos envolve ações de minimização do total gerado. As questões apresentadas enfocam a importância de se medir as cargas de resíduos com o objetivo de reduzi-las. A redução, por sua vez, pode ser feita através de dois tipos de medidas (Allison *et al.*, 1998): *medidas estruturais*, com a implantação das armadilhas ou estruturas de retenção; e *medidas não-estruturais*, envolvendo mudanças de atitude da comunidade (incluindo o comércio, a indústria e os residentes). As medidas não estruturais e preventivas quanto à geração dos resíduos podem ser direcionadas no sentido de melhorar nos serviços urbanos, regular os empreendimentos com atuação no controle da implementação de construções urbanas e criar mecanismos para redução das fontes de produção de resíduos, tratando do aumento da reciclagem e obtenção do valor econômico dos resíduos, educação e incentivos à separação seletiva, entre outros.

O Brasil é um país de elevada deficiência relativa ao saneamento básico. Dados do ABRELPE (2014) apontam que das cerca de 5.570 toneladas de resíduos gerados no Brasil por ano, aproximadamente destinam-se para: 24,3% aterro controlado, 58,3% aterro sanitário, 17,4% vazadouro a céu aberto (lixão), menos de 1% compostagem, 0,0% incineração, pois este tipo de disposição quase não é utilizado no Brasil, 4,3% em processos de reciclagem. Esses números se referem às porcentagens de resíduo coletado.

A composição dos resíduos totais que chegam à drenagem varia de acordo com o nível de urbanização entre os sedimentos e resíduo. Na última década houve um visível incremento de resíduo urbano devido às embalagens plásticas que possuem baixa reciclagem. Os rios e todo o sistema de drenagem ficam cheios de garrafas tipo pet, além das embalagens de plásticos de todo o tipo (Tucci, 2005).

Neste contexto, o resíduo jogado indevidamente nas ruas, rios e canais contribui para a diminuição da velocidade do fluxo d'água e para o aumento da taxa de sedimentação. Esses problemas agravam o assoreamento dos cursos d'água, facilitando os alagamentos nos

períodos de chuva, gerando graves transtornos para a população da cidade e elevada erosão hídrica.

Este processo dificulta a infiltração d'água da chuva, ocorrendo um escoamento superficial que acaba levando todo o sedimento transportado para as partes mais baixas do relevo, contribuindo para o acúmulo de sedimentos em bacias urbanas (Guimarães, 2012).

Para Tucci e Collischonn (1998), na medida em que a cidade se urbaniza, em geral, ocorrem os seguintes impactos: a) aumento das vazões máximas, segundo Leopold (1968), estas pode aumentar em até 7 vezes, devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies; b) aumento da produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies e a produção de resíduos sólidos (resíduo); c) deterioração da qualidade d'água, devido a lavagem das ruas, transporte de material sólido e as ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial.

Outra questão importante sobre o assoreamento dos rios é o próprio resíduo que é jogado nos corpos hídricos e/ou arrastados pelo escoamento superficial. Guy (1967) vem corroborar com esta questão ao afirmar que os sedimentos nas áreas urbanas muitas vezes são gerados em um grande número de áreas particulares, mas quando atingem o leito do rio ou canal passam a ser encarados como um problema público.

A gestão pública deve procurar ser mais eficaz nas estratégias de coleta de resíduos nas residências e estabelecimentos, e na limpeza dos logradouros públicos, com o fim de minimizar o total de resíduo sólido que é lançado no sistema de drenagem e levado pelo escoamento, devido ao maior custo de coleta no sistema de drenagem e o impacto ambiental. A eficácia depende da educação da população, da cobertura da rede de coleta domiciliar e da sua frequência, da frequência e eficiência da limpeza das ruas, da programação eficiente quanto à limpeza antes dos dias chuvosos, da gestão de resíduos de construções, entre outros (Neves e Tucci, 2008).

3.3. RESÍDUOS SÓLIDOS

A NBR 10.004 (ABNT, 2004) define os resíduos sólidos como resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e

instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Os resíduos sólidos urbanos (RSU), nos termos da Lei Federal nº 12.305/10 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010), englobam os resíduos domiciliares, isto é, aqueles originários de atividades domésticas em residências urbanas e os resíduos de limpeza urbana, quais sejam, os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, bem como de outros serviços de limpeza urbana.

Segundo a ABRELPE (2014) a geração total de RSU no Brasil em 2014 foi de aproximadamente 78,6 milhões de toneladas, o que representa um aumento de 2,9% de um ano para outro (de 2013 para 2014), índice superior à taxa de crescimento populacional no país no período, que foi de 0,9%. Sendo que a geração per capita em 2013 foi de 379,96 kg hab⁻¹ano⁻¹ e em 2014 foi de 387,63 kg hab⁻¹ano⁻¹, o que representa um aumento de 2,02% (de 2013 para 2014).

Seguindo tendência já revelada em anos anteriores houve um aumento de 3,20% no total de RSU coletado em 2014 relativamente a 2013. A comparação deste índice com o crescimento da geração de RSU mostra uma discreta evolução na cobertura dos serviços de coleta de RSU, o qual atingiu um total coletado de 71.260.045 ton ano⁻¹. A comparação entre a quantidade de RSU gerada e a coletada em 2014 mostra que o país contou com um índice de cobertura de coleta de 90,6%, levando à constatação de que pouco mais de 7 milhões de toneladas deixaram de ser coletadas no país neste ano e, conseqüentemente, tiveram destino impróprio.

Conforme dados da ABRELPE (2014), que podem ser observados na Figura 1, a situação da destinação final dos RSU no Brasil em 2014 manteve-se estável em relação a 2013. O índice de 58,4% de destinação final adequada em 2014 permanece significativo, porém a quantidade de RSU destinada a locais inadequados totaliza 29.659.170 ton ano⁻¹, que seguiram para lixões ou aterros controlados, os quais do ponto de vista ambiental pouco se diferenciam dos lixões, pois não possuem o conjunto de sistemas necessários para a proteção do meio ambiente e da saúde pública.

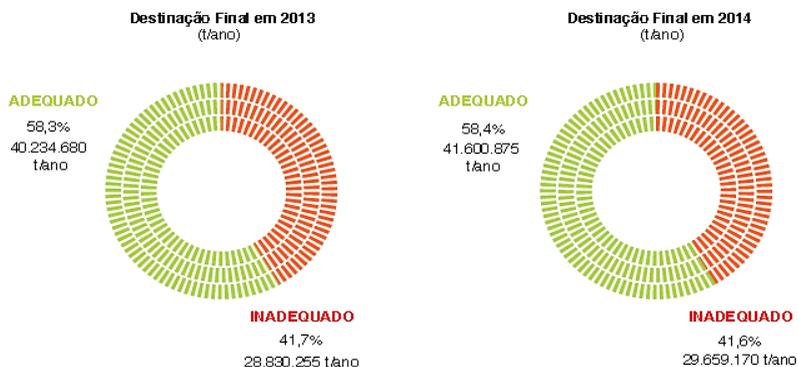


Figura 1 Destinação final dos RSU coletados no BRASIL

Fonte: ABRELPE (2014).

Merecem destaque os números relacionados à destinação final dos resíduos coletados, cuja pesquisa revelou que 58,4 % seguiram para aterros sanitários em 2014, praticamente sem alteração do cenário registrado no ano anterior. Nesse sentido, é importante ressaltar que os 41,6% restantes correspondem a 81 mil toneladas diárias, que são encaminhadas para lixões ou aterros controlados, os quais pouco se diferenciam dos lixões (ABRELPE, 2014). Esse quadro teve uma mudança significativa nos últimos 20 anos: em 1989, os lixões ou aterros controlados representavam o destino final de resíduos sólidos em 88,2% dos municípios.

As estatísticas de produção de resíduos sólidos referem-se geralmente à coleta, caracterizado em $\text{kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$. Este valor, que representa o que é coletado e não o que permanece nas ruas ou atinge o sistema de drenagem, varia de acordo com a renda da população, sazonalidade, verticalização, características regionais, entre outros (Mercedes, 1997; Reis *et al.*, 2002). A dinâmica dos resíduos sólidos gerados também depende do tipo e seu valor econômico de reciclagem. Por exemplo, resíduos de alumínio têm alto valor agregado, enquanto os plásticos estão em evolução, aumentando a sua reciclagem em função da coleta seletiva e do tipo de plástico.

Nos últimos anos a geração de RSU vem aumentando vertiginosamente e variando na sua composição, pelo aumento da população, as atividades econômicas, e a mudança nos padrões de consumo, entre outros. A composição e geração podem variar de semana

a semana pelas flutuações nas casas individuais (Tchobanoglous, 1994; Gallardo, 2000; Parfitt, 1997). Existe uma série de fatores que afetam a geração dos resíduos e sua composição, entre os quais temos: o aumento da população e a esperança de vida, a forma de conservar os produtos no mercado, o período de vida útil dos produtos e as atividades econômicas que se desenvolvem nas áreas urbanas.

Existem alguns fatores mais específicos que variam num país, uma região ou na mesma cidade, que podem ser físicos, geográficos, econômicos e políticos, que fazem variar a taxa de geração e sua composição, que se devem tomar em conta para a realização de uma caracterização de resíduos sólidos e a realização do modelo na dinâmica de sistemas, entre os que se encontram (Tchobanoglous, 1994): a estação do ano; área geográfica; o clima; o nível de renda de uma população; modo de vida da população; tipo de população.

Outros fatores determinam a taxa de geração, os quais não serão levados em conta no modelo da dinâmica de sistemas, mas que foram considerados em outros estudos de caracterização dos resíduos sólidos de uma zona, tais como: A composição da família, Os hábitos de manejo dos resíduos nas casas, A sazonalidade da população, O consumo de água e eletricidade. Num estudo de caracterização é importante levar em conta a influência que podem ter um ou mais fatores sobre a geração e composição dos RSU, já que a incidência dos mesmos pode ser de diferente intensidade e proporção. Pode-se realizar um estudo de caracterização com amostragem mais eficiente mediante o controle de diversas combinações dos fatores mais importantes. Sem embargo, a identificação dos ditos fatores pode ser um problema de pesquisa, já que em casos de estudos onde se relacionam de forma sistemática os fatores sócio econômicos, geográficos e de prestação de serviços na gestão dos resíduos, com geração composição dos RSU, se recomenda realizar a pesquisa diretamente na fonte, neste caso, nas moradias (Parfitt, 1997).

Nos estudos de caracterização dos resíduos sólidos, devem-se levar em conta os fatores mensuráveis que possam explicar a taxa de geração e a composição que se obtém de uma fonte num tempo e lugar determinado, que permitam, entre algumas necessidades, ajustar as capacidades de armazenamento e as frequências de coleta dos RSU.

3.3.1. Estudo dos resíduos sólidos na drenagem urbana

O efeito dos resíduos sólidos na drenagem urbana é citado em diversos trabalhos de forma secundária desde a década de 1970 (Schueler, 1987), sendo poucos os trabalhos de quantificação direta dos resíduos nos cursos d'água urbanos, sobretudo em países em desenvolvimento (Armitage e Rooseboom, 1999). No Brasil, há recentemente uma busca mais acentuada por parâmetros que caracterizem e quantifiquem os resíduos sólidos na drenagem urbana, a tabela 2 relaciona alguns deles.

O trabalho de Brites e Gastaldini (2007) teve como objetivo avaliar as cargas de resíduos sólidos e de poluentes da água, veiculados pela rede de drenagem urbana, em duas bacias hidrográficas, localizadas na cidade de Santa Maria, RS. Os resíduos sólidos foram coletados através de redes instaladas ao longo da seção da drenagem e foram quantificados em peso e volume após cada evento de precipitação.

No estudo de Salles et al., (2011) é apresentada uma estrutura para a captura dos resíduos sólidos carreados pelo fluxo de água em uma bacia urbana, também localizada em Santa Maria, RS. Os resíduos sólidos retidos foram quantificados e qualificados, conforme a resolução do CONAMA 275/2001 (Brasil, 2001). Os autores constaram que a principal constituição dos resíduos foi matéria orgânica incluindo restos de vegetação, abrangendo 67% da massa total dos resíduos quantificados, seguidos de plásticos (14%).

Em Florianópolis – SC foi desenvolvido o trabalho de Gava e Finotti (2012) que tiveram como objetivo analisar as principais características que influenciam no surgimento dos resíduos sólidos na rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio do Meio. O monitoramento foi realizado durante 21 dias e os resíduos coletados após cada evento de precipitação. A classificação dos resíduos sólidos foi realizada conforme a ABNT (2004), foi estimado que aproximadamente $0,27 \text{ kg ha}^{-1}$ de resíduos são veiculados na rede de drenagem por ano; sendo a maioria composta por plásticos e materiais de construção.

Gonçalves (2013) fez a quantificação e qualificação dos resíduos sólidos presentes na drenagem urbana da bacia Cancela – Tamandaí, também localizada em Santa Maria –RS. Os resíduos foram classificados conforme a resolução do CONAMA 275/2001 e relacionados com os dados de precipitação pluviométrica. Foram

coletados ao todo 1153,2 kg de resíduos sólidos, com uma precipitação pluviométrica total para o período (três meses) de 518,94 mm, sendo desses 93,9% composto por matéria orgânica.

Tabela 2 Estudos de coleta de RSU na drenagem urbana no Brasil

Cidade	Local	Características	Monitoramento (eventos precipitação)	Volume total de RSU coletados	Ref.
Santa Maria - RS	Bacia do Cancela	Quantificação e classificação RSU	13 eventos	2774,0 kg	Brites e Gastaldini (2007)
Santa Maria - RS	Bacia-Escola Urbana	Quantificação e classificação RSU	10 eventos	2220,2 kg	Salles, et al., 2011.
Santa Maria - RS	Bacia do Arroio Tamandá	Quantificação e classificação RSU	11 eventos	1153,2 kg	Gonçalves, 2013
Florianópolis - SC	Bacia do Rio Meio (UFSC)	Quantificação e classificação RSU	6 eventos	3,7 kg	Gava e Finotti, 2012

3.3.2. Classificação dos resíduos sólidos na drenagem

A quantidade de resíduo sólido encontrado no sistema de drenagem urbana pode ser influenciada por uma série de fatores, Allison *et al.* (1998) citam alguns fatores que influenciam na taxa de produção de resíduos sólidos, entre os quais estão:

- Tipo de ocupação do solo: comercial, industrial, residencial e parques;
- Características dos eventos de precipitação;
- População;

- Práticas de gerenciamento: limpeza de ruas, forma de armazenamento, regularidade de limpeza, programas de reciclagem;
- Programas de conscientização e educação;
- Período de tempo sem chuvas;
- Tamanho e geometria das entradas e condutos da rede de drenagem.
- Características físicas da bacia hidrográfica: tamanho, declividade, características da superfície e vegetação;
- Variações sazonais;
- Intensidade e direção do vento.

Armitage e Rooseboom (2000) ainda citam que o nível econômico da comunidade também afeta a produção de resíduos, pois pessoas de baixa renda não têm acesso a muitos produtos, conseqüentemente, não produzem tanto resíduo sólido.

Os resíduos podem ser classificados de acordo com grau de degradabilidade: a) facilmente degradáveis: matéria orgânica presente nos resíduos sólidos de origem urbana; b) moderadamente degradáveis: papéis, papelão e material celulósico; c) dificilmente degradáveis: são os pedaços de pano, retalhos, aparas e serragens de couro, borracha e madeira; d) não-degradáveis: vidros, metais, plásticos, pedras, solo, entre outros (Bidone e Povinelli, 1999).

Outro sistema de classificação simplificado foi proposto por Armitage e Rooseboom (2000): (1) Plásticos: sacolas, embalagens, recipientes, garrafas, cordas, fitas cassetes, seringas, etc. (2) Papéis: embalagens, jornais, folhetos, embalagens de comida e bebida, passagens de ônibus, papelão, etc. (3) Metais: chapa metálica, latas, garrafas, placas de veículo. (4) Vidro: garrafas, pedaços quebrados. (5) Vegetação: ramos e folhas de árvores, frutas e vegetais podres. (6) Animais: cães e gatos mortos, diversos esqueletos. (7) Materiais de construção: janelas, tábuas, escoras, tijolos quebrados, massa de concreto. (8) Outros: roupas velhas, sapatos, panos, esponjas, bolas, lápis, canetas, balões, tocos de cigarros, pneus.

Considerando a necessidade de reduzir o crescente impacto ambiental associado à extração, geração, beneficiamento, transporte, tratamento e destinação final de matérias-primas, provocando o aumento de lixões e aterros sanitários, a resolução CONAMA 275/2001 estabelece um código de cores para os diferentes tipos de resíduos. O

padrão de cores a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como o nas campanhas informativas para a coleta seletiva é o seguinte:

- AZUL: papel/papelão;
- VERMELHO: plástico;
- VERDE: vidro;
- AMARELO: metal;
- PRETO: madeira;
- LARANJA: resíduos perigosos;
- BRANCO: resíduos ambulatoriais e de serviços de saúde;
- ROXO: resíduos radioativos;
- MARROM: resíduos orgânicos;
- CINZA: resíduo geral não reciclável ou misturado, ou contaminado não passível de separação.

3.3.3. Mecanismos de retenção dos resíduos sólidos

Existem diversas metodologias usadas para a realização da coleta de resíduos sólidos, entre elas, redes em tela de aço instaladas transversalmente ao eixo do curso d'água e armadilhas metálicas com estrutura basculante, como as utilizadas por Brites (2005) e Salles (2010), e estruturas auto limpantes, utilizada por Beecham e Sablatnig (1994).

O uso de redes para retenção dos resíduos sólidos urbanos lançados no sistema de drenagem foi empregado por Brites (2005), foram feitas de telas de aço com malha de 70 mm, instaladas transversalmente ao eixo do rio, o que viabilizava a retenção e análise dos resíduos sólidos transportados. Também foram fixadas na vegetação dos locais de amostra, por meio de tiras de aço galvanizado de 5 mm de espessura.

Se houvesse entupimento da rede por pequenas partículas ou grande quantidade de material, a forte vazão existente faria a água desviar seu curso normal e resultaria em prejuízos à região. Em decorrência da possibilidade de desmoronamentos, este mecanismo foi escolhido, pois a estrutura fixada possibilitava seu rompimento diante de um esforço maior do que o previsto. Brites (2005) identificou que as instalações de redes foram fixadas por vegetação na margem do curso

d'água quando havia esta possibilidade e em estacas de madeira quando não havia esta disponibilidade.

A Figura 2 mostra o esquema das redes instaladas na bacia hidrográfica da Cancela adotada por Brites (2005) e a Figura 3 mostra fotos das redes coletoras utilizadas em outros estudos de monitoramento de resíduos na drenagem (Salles, 2010; Gava e Finotti, 2012 e Gonçalves, 2013).

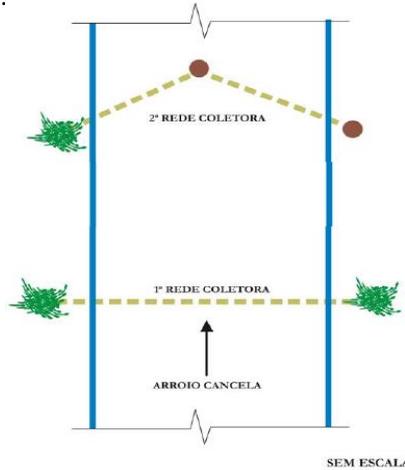


Figura 2 Desenho esquemático das redes coletoras

Fonte: Brites (2005).



a)

b)

c)

Figura 3 Fotos das estruturas coletoras de resíduos adotados por outros autores

Fonte: a) Salles (2011); b) Gava e Finotti (2012) e c) Gonçalves (2013).

O resíduo acumulado foi removido das redes, manualmente, o qual ficara depositado por algum tempo nas margens do corpo d'água, para possibilitar o escoamento do excesso d'água, evitando assim que existisse aumento no peso das amostras, devido à umidade do material. O tempo esperado para o escoamento do excesso de umidade dos resíduos foi de aproximadamente 2 (dois) dias para então ser feita a separação gravimétrica dos resíduos e sua classificação em resíduos orgânicos e inorgânicos.

Posteriormente o material coletado, foi coletado em função de sua composição, e logo após o quantificado em peso e volume.

3.3.4. Curva de previsão de resíduos sólidos drenados

A curva de previsão dos resíduos sólidos na drenagem (RSD), proposta por Salles (2010), visa avaliar a possibilidade ou a inviabilidade de uma correlação entre o total de precipitado e o acúmulo de resíduos sólidos carregados pelas águas de lavagem.

Esta curva foi proposta de uma forma bastante simplificada. Analogamente como se faz para sedimentos, a proposta foi avaliar a produção de RSD por eventos pluviosos isolados como fez Canali (1981) para sedimentos. Esta estratégia de se avaliar a produção por meio de eventos pluviosos isolados é aqui adaptada e proposta para ser usada para os resíduos sólidos drenados. Enquanto que a produção de sedimentos esta associada a processos inadequados de uso e manejo do solo, conforme avaliado por Canali (1981) e Silveira (1982), a produção de resíduos sólidos drenados poderá estar associada a processos inadequados de gestão de resíduos sólidos, restando saber qual o preponderante.

A curva foi construída, inicialmente, para relacionar por eventos pluviosos isolados, o total precipitado como o volume de resíduos sólidos carregado pelo escoamento superficial em uma bacia urbana.

3.4. EROÇÃO E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

As atividades humanas estão aumentando a erosão, seja pela incorporação de práticas agrícolas e a deflorestação, ou devido às construções e as atividades de mineração que não consideram as características do relevo e do solo (Reichert *et al.*, 2013).

A erosão hídrica dos solos começa quando a chuva atinge o solo exposto, separando as partículas e fazendo com que as partículas mais finas que se movam com a água que flui com sedimentos suspensos (Miller, 1998).

Os fatores que influenciam a erosão são a energia e quantidade de chuva, a capacidade do solo resistir à erosão, a quantidade de solo coberto e protegido pela vegetação, as características da vertente e práticas de gestão. Os principais fatores que influenciam a erosão hídrica são o clima, o tipo de solo, o relevo, a cobertura vegetal e o uso do solo, sendo que é importante salientar que os últimos dois fatores são diretamente afetados pelas atividades humanas.

As etapas do processo erosivo abrangem a desagregação do solo, o transporte e a deposição dos sedimentos. A desagregação do solo ocorre pela ação da energia cinética da chuva e do escoamento. O transporte de sedimentos ocorre pela ação do escoamento superficial e nos canais (declividade, vazão unitária). E a deposição do sedimento é condicionada pela capacidade de transporte do escoamento. Quando não existe energia suficiente para o transporte das partículas desagregadas ocorre a deposição ou sedimentação.

Os impactos ambientais (*off-site*) são o aumento de sedimentos e outras cargas poluentes em águas receptoras (Deng *et al.*, 2009). As excessivas entradas de sedimentos nos rios podem causar problemas físicos de turbidez na coluna d'água e sedimentação em canais, reservatórios, estuários, portos e zonas costeiras. Por sua vez, esta sedimentação pode afetar a morfologia e o comportamento do canal e a navegação (Owens *et al.*, 2005). O custo da dragagem, dos vários bilhões de toneladas de sedimentos dos rios e portos a cada ano, é cerca de 15 vezes mais do que o custo de manter o solo na terra de onde existe erosão (Miller, 1998).

Segundo Renschler (2002) para lidar com os processos do solo e o risco da erosão, cientistas e engenheiros de diversas áreas desenvolveram parâmetros físicos, equações e modelos com a intenção de aplicar ferramentas de avaliação para ensino, fiscalização e planejamento ambiental.

3.4.1. Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE)

Os modelos mais utilizados para estimar a perda do solo pela erosão hídrica são baseados na aplicação da Equação Universal de Perda

de Solo (*Universal Soil Loss Equation – USLE*, Wischmeier e Smith, 1965) e de sua versão revisada (*Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE*, Renard *et al.*, 1996), dada pela equação (1):

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad \text{Eq.(1)}$$

Onde:

A é perda anual de solo do solo ($\text{ton ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) devido ao escoamento superficial;

R é fator de Erosividade $\text{MJ mm ha}^{-1}\text{mês}^{-1}$

K é fator de Erodibilidade varia de 0,03 a 0,79 $\text{ton MJ}^{-1}\text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$.

LS é fator de declividade e comprimento de encosta (adimensional)

C é fator de uso e manejo do solo variando de 0,001 a 1,0 (adimensional)

P é fator de práticas conservacionistas que varia de 0,3 a 1,0 (adimensional)

- R: Fator de Erosividade.

Segundo Goovaerts (1999) o fator de erosividade da chuva R é um índice que representa o potencial de chuva e enxurrada para provocar erosão em uma área sem proteção. A perda de solo provocada pela chuva é diretamente proporcional ao produto da energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima em 30 min. Esse produto é denominado de índice de erosão (EI_{30}).

A média dos valores anuais de EI_{30} de um longo período de tempo (mais de vinte anos) é o valor do fator de erosividade da chuva R.

O valor de R pode ser calculado, somando-se os valores mensais do EI_{30} para toda a série de dados de pluviômetros, conforme as equações (2) e (3), propostas por Lombardi Neto (1977):

$$EI_{30}\text{mensal} = a \left(\frac{p^2}{P} \right)^b \quad \text{Eq.(2)}$$

Onde:

$EI_{30}\text{mensal}$ é média mensal do índice de erosão ($\text{MJ mm ha}^{-1}\text{mês}^{-1}$)

p é volume da precipitação mensal (mm)

P é volume da precipitação anual (mm)

a, b é constantes de regressão. Sendo a=67,355 e b= 0,85.

$$R = \sum (EI) \quad \text{Eq.(3)}$$

Onde:

R é erosividade da chuva (MJ mm ha⁻¹mês⁻¹)

- K: Fator de Erodibilidade do solo

É a função dos fatores do solo que influem na sua resistência à desagregação, resistência ao transporte e velocidade de infiltração. As características do solo que afetam estes processos são: textura, estabilidade de agregados, tensão de cisalhamento, capacidade de infiltração, conteúdo de matéria orgânica e conteúdo químico.

O fator K pode ser estimado com base na distribuição granulométrica e na percentagem de matéria orgânica do solo, utilizando a equação (4) (Wischmeier e Smith, 1978):

$$K = 0,00273 M^{1,14}(10^{-4})(12 - ka) + 0,00423(kb - 2) + 0,00325(kc - 3) \quad \text{Eq.(4)}$$

Sendo:

K é fator de erodibilidade do solo (ton/MJ)/(mm/h)

M é (silte% + areia % + areia muito fina%).(100 - argila%)

ka é matéria orgânica (%)

kb é código da estrutura: 1 - granular muito fina; 2 - granular fina; 3 - granular média a grossa; 4 - em blocos, laminar ou maciça

kc é classe de permeabilidade do perfil: 1 - rápida; 2 - moderada/rápida; 3 - moderada; 4 - lenta/moderada; 5 - lenta, 6 - muito lenta. (Tabela 3)

Tabela 3 Índices de permeabilidade do perfil

Classe	Permeabilidade	Perfil
	$mm\ h^{-1}$	
Rápida	> 254	1
Moderada / rápida	254 - 127	2
Moderada	127 - 63,5	3
Lenta / moderada	63,5 - 20	4
Lenta	20-5	5
Muito / lenta	< 5	6

Fonte: Adaptado de Soil Survey Division Staff (1993).

- **LS: Fator topográfico**

O fator LS baseia-se no comprimento de rampa (L) e declive de inclinação (S). Comprimento de rampa (L) é a distância horizontal a partir da origem do escoamento superficial até o ponto onde o declive diminuiu suficiente para que a deposição comece ou o escoamento torne-se concentrado num canal definido. O declive de inclinação (S) mostra a influencia do grau da declividade. O fator LS pode ser calculado utilizando a equação 5 (Renard *et al.*, 1996):

$$LS = 0,00984 \cdot S^{1,18} \cdot Lx^{0,63} \quad \text{Eq. (5)}$$

Sendo:

LS é fator topográfico

S é declividade média da encosta (%) sendo: $S \leq 35\%$

Lx é comprimento da rampa (m) sendo: $10m \leq L \leq 180m$

Fator S = Declividade:

S é $10.8 \text{ sen}\theta + 0,03$ $s < 9\%$

S é $16.8 \text{ sen}\theta - 0,50$ $s \geq 9\%$

S é fator declividade da rampa (S = 1 quando $s = 9\%$)

θ é declividade da rampa ($^\circ$) = $\tan^{-1}(s/100)$

s é declividade da rampa (%)

Fator L = Comprimento da Rampa:

L é fator comprimento da rampa (L=1 quando $\lambda = 22,1$ m):

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,1} \right)^m \quad m = \frac{\beta}{(1 + \beta)} \quad \beta = \frac{\left(\frac{\text{sen}\theta}{0,0896} \right)}{[3(\text{sen}\theta)^{0,8} + 0,56]}$$

λ é comprimento da rampa (m)

β é a razão entre a erosão por sulco (causada pelo fluxo) e a erosão entre sulcos (causada principalmente pelo impacto das gotas de chuva).

θ é declividade da encosta, em graus.

m é 0,67

- C: Fator de uso e manejo do solo

A RUSLE foi desenvolvida inicialmente somente para culturas de plantações, sendo posteriormente expandido para outras áreas como de mineração. Com base em novas descrições de cultivo e práticas de gestão e sua influência na perda de solo (Renard *et al.*, 1996) apresentados por Tomaz (2008). O fator C foi estimado utilizando a Tabela 4 para o presente estudo com o uso do solo predominante a terras urbanas.

Tabela 4 Fator de uso do solo C

Uso da terra	C
Plantações	0,080
Florestas virgens (C tende a 0,001)	0,0001
Pastagens	0,010
Vegetação natural	0,100
Florestas	0,005
Agricultura de café	0,200
Terras urbanas	0,010
Área desnuda (C tende 1,00) e outros	1,000
Áreas urbanas	0,030
Gramados (4,5 ton ha ⁻¹ ano ⁻¹)	0,001

Fonte: Tomaz (2008)

- P: Fator de prática contra erosão

Conforme Righetto (1998) as práticas de conservação do solo podem reduzir enormemente as perdas do solo. O fator P foi estimado com base nas Tabelas 5 e 6. Sendo que, como no presente estudo o uso do solo predominante é terras urbanas, o valor adotado foi adotado segundo o mapa gerado pelo SIG.

Tabela 5 Fator de práticas contra erosão

Uso geral da terra	P
Plantações	0,5
Pastagens	1,0
Florestas	1,0
Terras urbanas	1,0
Outros	1,3

Fonte: Wanielista, 1978 apud Mays, 2001.

Tabela 6 Valores de P para alguns tipos de manejo do solo

Tipo de manejo	Inclinação do terreno (%)			
	2 a 7	8 a 12	13 a 18	19 a 24
Plantio morro abaixo	1,0	1,0	1,0	1,0
Faixas niveladas	0,50	0,60	0,80	0,90
Cordões de vegetação permanente	0,25	0,30	0,40	0,45
Terraceamento	0,10	0,12	0,16	0,18

Fonte: Righetto (1998).

É importante saber que a RUSLE foi desenvolvida para o controle da erosão em áreas de plantações, mas nos últimos anos tem sido usada para outros tipos de erosão como áreas de florestas e mineração de superfície, em estudos de bacias hidrográficas, conforme Brooks *et al.* (1997) em Larry May (2001) apud Tomaz (2008).

Outra observação da RUSLE é que se precisa de um mínimo de **30 anos de dados de chuvas** e não um único evento, no fim de estimar com maior precisão o fator R de erosividade.

3.4.2. Estimativa dos sedimentos depositados na drenagem urbana

A urbanização, fenômeno fortemente impactante do meio físico, tem sido uma marca do processo histórico de desenvolvimento dos países. De correm daí diversas alterações no ambiente natural. Do ponto-de-vista hidrológico, podem ser destacadas: i) aumento da produção de sedimentos, pela remoção da cobertura vegetal e mudança no relevo; ii) maior produção de resíduos sólidos, em decorrência das múltiplas atividades que então se estabelecem; iii) degradação dos mananciais hídricos, pela adução de carga poluente acima de sua qualidade de autodepuração. Schueler (1987) destaca como efeito próprio da urbanização o aumento do transporte de poluentes em, no mínimo, uma ordem de magnitude acima do nível de pré-desenvolvimento.

A quantidade de sedimentos transportadas em um canal de drenagem é muito complexa pelo fato da dinâmica existente em uma bacia hidrográfica, pois a erosão que ocorre depende da troca de energia com o meio no qual esta bacia está inserida (Guimarães, 2012). Portanto, o transporte de sedimentos nos corpos hídricos irá ocorrer conforme a interação desses fatores na bacia de drenagem. Tucci (2002), apresenta uma estimativa dos sedimentos depositados em algumas cidades brasileiras, conforme Tabela 7.

Tabela 7 Estimativa dos sedimentos depositados na em algumas cidades brasileiras

Rio e cidade	Características da fonte de sedimentos	Volume $m^3km^2ano^{-1}$	Referência
Rio Tietê em São Paulo	Sedimentos dragados	393	Nakae e Brighetti, 1993
Tributários do rio Tietê em São Paulo	Sedimentos de fundo	1400	Lloret Ramos <i>et al.</i> , 1995
Lago da Pampulha em Belo Horizonte	Sedimentos de 1957 a 1994	2436	Oliveira e Batista, 1997
Porto Alegre, Arroio Dilúvio	Sedimentos dragados	750	DEP, 1993

Fonte: Tucci (2002).

As fontes de poluição costumam ser categorizadas em pontuais e difusas. Conforme Ryding e Rast (1989) apud Meneses e Tucci (2003), uma carga tem caráter pontual quando sua fonte é passível de determinação e localização, como o são os esgotos domésticos, as descargas industriais, os efluentes de aterros sanitários, que aportam no meio aquático num ponto específico; as cargas difusas, por outro lado, são aquelas geradas de forma distribuída ao longo da superfície do solo por agentes poluidores diversos, afluindo aos corpos de água, principalmente, durante os eventos de chuva Meneses e Tucci (2003).

Também são ditas não pontuais as cargas que não apresentam um ponto de lançamento específico, sendo despejadas ao longo das margens dos rios ou lagos. Não prática, porém, essa distinção entre os tipos de fontes poluentes nem sempre é bastante clara. É comum, por exemplo, cargas difusas em bacias urbanas estarem associadas, de forma quase permanente, a parcela de cargas de esgotos domésticos, em decorrência da inadequação operacional de sistemas de coleta e do lançamento de esgoto cloacal na rede de drenagem pluvial.

Porto (1995) citado por Meneses e Tucci (2003) lista algumas origens da poluição em meio urbano: resíduo orgânico acumulado nas ruas, resíduos orgânicos de animais, restos provenientes de construção, resíduos de escapamento, partículas de pneu e de asfalto e outros resíduos de veículos automotores, ligações incorretas ou clandestinas de esgoto cloacal na rede de drenagem pluvial, em sistemas separativos, dentre outros. A natureza dos poluentes compõe um espectro amplo: hidrocarbonetos, metais pesados (zinco, cobre, ferro, manganês, chumbo etc.), matéria orgânica, bactérias, lubrificantes, graxas, combustíveis, pesticidas organoclorados, plásticos, papéis. Os sedimentos respondem por significativa parcela dessa poluição, que neles se fixa facilmente.

As ações de planejamento, assim como a definição de critérios para uma política de gestão de uso e ocupação do solo da bacia, requerem a identificação da natureza e uma estimativa da magnitude da carga poluente exportada pela área contribuinte de drenagem Meneses e Tucci (2003).

Para estimativa da carga de poluentes, para Schueler (1987), a metodologia denominada *Simple Method*, de natureza essencialmente empírica, tem sido bastante citada na literatura. Simplicidade e generalidade estão entre seus atributos. A implementação de seu algoritmo básico, em bacias americanas, é favorecida pelos dados

disponíveis do programa *NURP* e tem se revelado útil na predição de cargas poluentes sob diversas condições de planejamento, permitindo, ainda, a estimativa da probabilidade de excedência da concentração do poluente para certo nível estabelecido. Uma crítica imediata pode ser estimulada pela composição primária de seu algoritmo. Efetivamente, sua aplicabilidade, como esclarece o autor, está limitada a pequenas bacias, da ordem de até cerca de 3km² e deve ser aproveitada como forma de avaliação preliminar.

Deste modo, este trabalho procura associar o *Simple Method* à técnica de predição da erosão e perda do solo *RUSLE* para as análises da quantidade de produção anual do poluente que se acumula na superfície do solo e que são potencialmente laváveis pelas águas de escoamento pluvial.

3.5. DINÂMICA DE SISTEMAS

A Dinâmica de Sistemas (DS) é uma ferramenta de construção de modelos de simulação, radicalmente diferente de outras técnicas aplicadas ao estudo de sistemas sócio econômicos, tais como a econometria. A evolução do modelo se realiza sob a base da evolução das variáveis denominadas independentes, aplicando-se a estatística para determinar os parâmetros dos sistemas de equações que as relacionam com as outras denominadas dependentes. Estas técnicas pretendem determinar o comportamento do sistema sem o conhecimento dos seus mecanismos internos.

Sendo a dinâmica de sistemas uma metodologia estruturalista para construir modelos de comportamento no tempo de sistemas complexos, partindo das relações causais entre seus elementos essenciais. O potencial de uso da dinâmica de sistemas não está fundamentado em sua capacidade preditiva e sim no apoio à formulação de políticas e de estratégias de gestão (Dyner, 1993).

O objetivo básico da dinâmica de sistemas é compreender as causas estruturais que provocam o comportamento do sistema, isso implica o aumento do conhecimento sobre o papel de cada elemento do sistema, olhando as diferentes ações efetuadas sobre as partes do sistema, que acentuam ou atenuam as tendências do comportamento implícitas do mesmo.

Como característica diferenciadora pode-se chegar a dizer que não se pretende predizer detalhadamente o comportamento futuro, mas

obter um enfoque a longo prazo a fim de observar todos os aspectos significativos da evolução de um sistema. Só em uma escala de tempo suficientemente ampla poderão ser visualizadas as tendências de comportamento fundamentais.

Assim, a dinâmica de sistemas permite a construção de modelos pela análise cuidadosa dos elementos do sistema. Esta análise permite extrair a lógica interna do modelo e com isto estimar a evolução do sistema em longo prazo.

Esta metodologia permite:

- Identificação do problema.
- Desenvolver hipóteses dinâmicas que expliquem as causas dos problemas.
- Construção de um modelo de simulação do sistema que permita a análise da raiz do problema.
- Verificar se o modelo reproduz de maneira satisfatória o comportamento observado na realidade.
- Testar no modelo as diferentes alternativas ou políticas que dão solução ao problema.

Os modelos de simulação que utilizam a dinâmica de sistemas oferecem a possibilidade de tomar decisões baseadas nos resultados obtidos, analisando também os efeitos a curto, médio e longo prazo, das ações propostas.

3.5.1. Elementos Básicos da dinâmica de sistemas

A dinâmica de sistemas, diferente de outras técnicas que estudam o comportamento dos processos socioeconômicos (a econometria, por exemplo), possui alternativas para incorporar apreciações subjetivas e superar as deficiências da informação. Os instrumentos específicos usados nesta metodologia são os diagramas causais, os diagramas Forrester e a simulação computadorizada, elementos básicos que serão examinados na continuação.

O *Diagrama Causal* (ver Figura 4) é um esquema que relaciona as variáveis que constituirão o modelo, se constrói unindo as variáveis com flechas e indicando o sentido de suas variações conjuntas (positiva

ou negativa). Este diagrama permite conhecer a estrutura dinâmica de um sistema, que pode ser simples ou complexa.

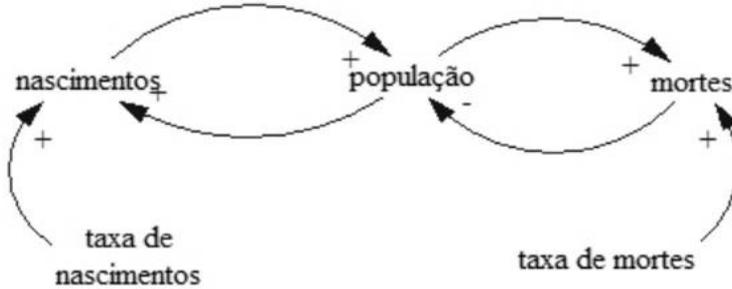
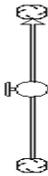


Figura 4 Representação do diagrama causal “exemplo análise da população”

Os *Diagramas Forrester* são a representação matemática dos diagramas causais. Constrói-se classificando as variáveis de nível, fluxo ou auxiliares, para formar um modelo integral com equações diferenciais de primeira ordem. (Tabela 8).

Normalmente no nível o intervalo de tempo dt é feito igual a 1 unidade de tempo (segundo, minuto, hora, dia, semana, mês, trimestre, semestre, ano, década, século, milênio, etc.). Esta unidade de tempo é que comanda todo o processo de simulação do modelo ao longo do tempo, isto é, o sistema é mostrado na tela do computador de dt em dt unidades de tempo. Note também que na equação de transição do nível, o fluxo está multiplicado por dt , o que é dimensionalmente correto, pois a unidade de fluxo é sempre "uma unidade qual quer" dividida por uma unidade de tempo (Paulo, 2005).

Tabela 8 Descrição gráfica dos ícones no Software Stella

NOME	DESCRIÇÃO	ÍCONES
Nível	Representa uma variável que pode ser alterada a longo do tempo por uma variável do tipo Taxa. Os níveis são variáveis especiais cujo valor (estado) depende do que aconteceu no passado. A equação de transição de um estoque no tempo T para o tempo T+dt é dada pela seguinte equação: $\text{Nível}(T+dt) = \text{Nível}(T) + \text{Fluxo}(dt) * dt$	
Fluxo	Representa uma variável que promovera a mudança da variável tipo <i>Nível</i> ao longo do tempo. Pode ser Unidirecional ou Bidirecional. Os fluxos são medidos em unidade de uma grandeza qualquer (metros, por exemplo) por unidade de tempo (segundo, por exemplo). Tais equações são do tipo: Fluxo = 10 [metros / segundo]	
Conversor	Representa o mecanismo para estabelecer constantes, definir entradas externas para o modelo e realizar cálculos algébricos. Por exemplo, são exemplos de variáveis e constantes: $\text{Variável}(T) = \text{seno}(T)$	
Conector	Representa uma relação de causa-efeito entre variáveis, expressando uma dependência entre elas.	
Plataforma de Gráficos	É usada para traçar o gráfico de uma ou mais variáveis de um modelo em simulação.	
Plataforma de Tabelas	É usada para visualizar a saída numérica de uma ou mais variáveis de um modelo em simulação.	

Fonte: Paulo (2005).

3.5.2. Processo de aplicação da dinâmica de sistemas

Segundo Aracil (1978) no processo de construção de modelos com dinâmica de sistemas se distinguem três fases: a conceitualização, a representação ou formulação e a avaliação e análises.

A *conceitualização* compreende a descrição verbal do sistema, a definição pronta do problema e a construção do diagrama causal, com o que se simplificará o sistema.

A *representação ou formulação*, onde se constrói o diagrama Forrester, que representa o modelo por meio da simbologia criada por Forrester; o sistema de equações com o que se concretiza a formalização matemática das relações causais identificadas; e se realiza a calibração, que consiste em dar valores aos parâmetros das equações do modelo.

A última fase de *avaliação do modelo*, consiste em realizar avaliações para validar a eficácia do modelo, os contrastes mais básicos são a consistência de unidades de medida e das equações planteadas. Por último se desenvolve a implementação e análise, que consiste em realizar as simulações do modelo com as quais se obtém trajetórias que mostram a evolução do sistema.

3.5.3. Visão sistêmica de uma Bacia Hidrográfica

Alguns conceitos relacionados à importância da visão sistêmica já foram mencionados ao longo do texto. Desde a questão dos diferentes fatores que levam ao desenvolvimento sustentável (econômicos, sociais e ambientais), passando pelos princípios da política de recursos hídricos a qual prevê o uso múltiplo das águas, bem como os diferentes condicionantes da geração de uma carga poluidora numa bacia até a própria materialização das ações de intervenção.

Além disso, não pode esquecer-se dos próprios fenômenos climatológicos e dos processos relacionados às atividades socioeconômicas. Se nos detiver a analisar com cuidado, veremos que tudo isto está relacionado, mesmo que de forma pouco clara, (Oliveira, 2006). Todas estas relações e objetos podem ser generalizados em um único sistema (Figura 5).

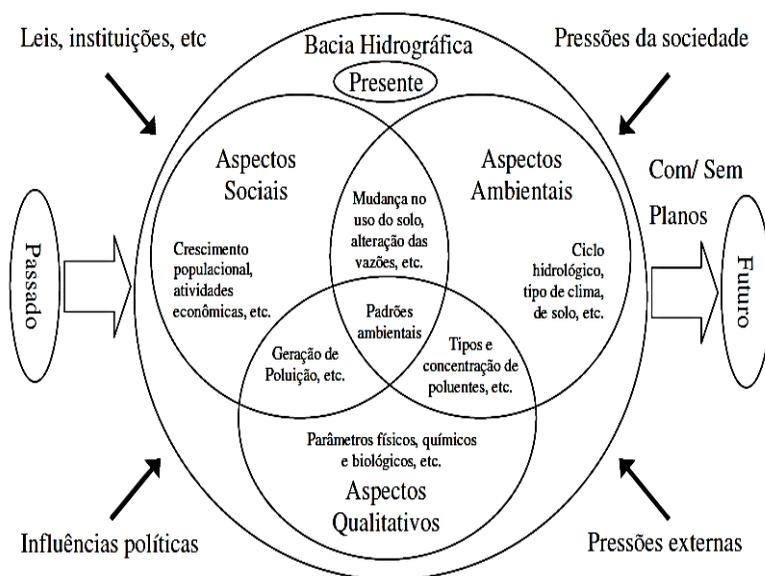


Figura 5 Visão sistêmica da bacia hidrográfica
 Fonte: Oliveira (2006).

A dinâmica de sistemas da resposta a esta necessidade e a nível internacional e nacional encontram-se estudos aplicando este método para a planificação e gestão dos RSU nas Bacias e em áreas urbanas. Uma revisão abrangente sobre aplicações da modelagem da dinâmica de sistemas (DS) para gestão de recursos hídricos pode ser encontrada em Winz et al. (2009). Alguns estudos têm se encontrados no nível nacional como internacional (Tabela 9).

Tabela 9 Estudos aplicando a Dinâmica de Sistemas (DS)

Local	Características do estudo	Método aplicado	Software	Referência
Rio Grande do Sul - Brasil	Geração de resíduos sólidos em diferentes cenários.	Classificação e quantificação dos resíduos	Vensim	Simonetto; Löbler (2012)
Porto Alegre - Brasil	Poluição em bacias hidrográficas.	Análise de poluição difusa e pontual	Stella	Oliveira (2010)
Bogotá - Colômbia	Gestão dos resíduos sólidos em instituições educativas	Analises socioeconômico	Stella	Danny (2011)
San Antonio, Texas -USA	Previsão da produção de resíduos sólidos urbanos	Análise da geração dos RSU em função do crescimento urbano	Stella	Dyson (2005)
Valle de Aburrá - Colômbia	Plano de gestão dos resíduos sólidos	Análise na gestão e geração dos resíduos sólidos	Vensim	AMVA (2006)
Santiago de Cali – Colômbia	Impacto pela geração dos resíduos sólidos	Classificação e quantificação dos resíduos	Vensim	Avila (2011)
Buenos Aires - Argentina	Minimização do impacto ambiental em zonas urbanas	Análises da disposição final dos resíduos sólidos	Vensim	Maximiliano (2012)

Nos trabalhos mostrados na Tabela 19 relacionada anteriormente, os autores apresentam diferentes análises através da dinâmica de sistemas (DS), avaliação do impacto na gestão integral de resíduos sólidos em função do crescimento da população segundo o local de estudo, da mesma forma, estudam com a DS o comportamento do ciclo d'água numa bacia hidrográfica e o planejamento do aproveitamento dos recursos hídricos em geral.

No entanto, nem sempre tem sido fácil utilizar estes modelos no processo de tomada de decisão. Isto se deve muito ao fato de que para utilizar estes modelos é necessário que os tomadores de decisão possuam um conhecimento específico sobre os parâmetros que foram modelados. Além disso, a quantidade de elementos que são necessários para descrever o comportamento das variáveis pode dificultar bastante o entendimento do sistema como um todo. Para superar esta dificuldade, é proposta a utilização de modelos de simulação dinâmica baseados nos fundamentos da área de estudos conhecida como “dinâmica de sistemas”, cujo objetivo é estudar sistemas complexos considerando todos seus elementos constituintes simultaneamente. Estes modelos são construídos para facilitar a avaliação de um sistema complexo por meio da análise da influência de cada elemento que o integra sobre os demais e sobre o todo.

3.5.4. Aplicação da dinâmica de sistemas nos processos de erosão e perda do solo na produção de sedimentos em bacias hidrográficas

A erosão é um processo de deslocamento de terra ou de rochas de uma superfície. A erosão pode ocorrer por ação de fenômenos da natureza ou do ser humano envolvendo problemas ambientais que afetam as bacias ou reservatórios em qualquer parte do mundo. Muitos estudos nas últimas décadas abordam a erosão do solo e sua predição, idealizando muitos métodos diferentes para fazê-lo. A RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) é o método mais utilizado para calcular a possível erosão. Por meio de um modelo dinâmico no entorno de Stella, se constroem as interconexões que inferem na equação da RUSLE (Cakula *et al.*, 2011).

O modelo de estudo é desenvolvido a partir de dados empíricos de um estudo na área do reservatório de Alqueva no sul de Portugal. O

modelo é ampliado a fim de incluir as interconexões dos componentes próprias do fator da RUSLE, além de sua forte relação com fatores de geração, caracterização e quantificação dos resíduos sólidos, a fim de avaliar a poluição em geral da bacia hidrográfica e assim terem uma visão mais ampla da situação ambiental que apresenta (Cakula *et al.*, 2011).

Cakula *et al.* 2011, no seu modelo da RUSLE com a dinâmica de sistemas, mostra com seus resultados que a erosão pode ter um impacto significativo e sua grande capacidade de reter água. Os diferentes cenários que podem se apresentar num estudo de sedimentos são capazes de refletir os problemas associados à capacidade de depósito. O modelo adotado por Cakula *et al.*, (2011), ajuda a destacar os fatores que tem maior impacto na erosão do solo em diferentes situações.

Os métodos disponíveis na literatura para a estimativa de produção de sedimentos, podem se agrupar em três grandes categorias: modelos orientados fisicamente, os modelos empíricos e os modelos conceituais (Volk *et al.*, 2010; Fu *et al.*, 2010; Merritt *et al.* 2003). Estes modelos diferem quanto a sua complexidade, considerando os processos, e quanto aos dados necessários (Panagopoulos, 2010a).

E assim o objeto deste método baseia-se em um modelo empírico, o qual por sua vez é baseado principalmente nas análises das observações e procuram caracterizar a resposta destes dados. Estes modelos requerem de menos parâmetros que os outros modelos, e constantemente podem ser apoiados por medidas áspers e chegando assim, a serem mais utilizados que os modelos mais complexos (Panagopoulos, 2010a).

Apesar do fato de que RUSLE é uma ferramenta de predição de erosão popular, o processo de estimativa de erosão do solo pode consumir muito tempo e capital econômico (Panagopoulos, 2010b). A modelagem de simulação é útil, porque não consome muito tempo com equações matemáticas complexas e o modelo pode ser facilmente modificado e aplicado em várias situações (Ouyang, 2008).

Relacionado modelos físicos foram programados usando um Vensim com a Dinâmica de Sistemas, para a conveniência em projetos de cenários e simulações. A integração do SIG com o software ArcView foi empregado por Yeh *et al.* (2006) com o fim de integrar temas digitalizados que contêm dados necessários para sua melhor aplicação.

Diferentes cenários como modelo de erosão do solo, o modelo de transporte de sedimentos, o modelo de escoamento, o modelo de nutrientes, e o modelo econômico, oferecem um melhor entendimento dos parâmetros permitindo flexibilidade na e aplicabilidade aos modelos desenvolvidos (Yeh *et al.*, 2006).

3.5.5. Aplicação da dinâmica de sistemas na estimativa de poluição das águas

A poluição das águas é altamente avaliada de acordo com sua fonte de origem, pontual ou difusa.

Segundo Drew (1983) apud Bollmann (2003), virtualmente todos os aspectos do ambiente são altamente alterados pelo aumento da urbanização, e como regra geral, a intensidade da mudança está ligada à densidade da área edificada e à extensão da ocupação. Na literatura podem ser encontrados valores médios de produção per capita de efluentes e concentração dos diversos poluentes nestas águas. Existem também relações empíricas entre a concentração dos parâmetros de qualidade com a densidade demográfica. Estes valores e relações são usados, então, para quantificar as cargas geradas no modelo.

Estimativa das cargas de poluentes:

Por conveniência, as cargas poluidoras serão diferenciadas em duas parcelas de acordo com a existência da rede de esgotamento sanitário.

1) Usuários sem rede de esgotamento sanitário ou sem coleta regular de resíduos

Segundo Oliveira (2006), a inexistência de rede de esgotamento sanitário faz com que os efluentes depositados geralmente em tanques sépticos e a falta de coleta regular de resíduo aumente a quantidade de RS na superfície do solo. Sendo assim, o tipo de poluição gerada por este grupo de usuários é de forma *difusa*, pois é devido à contaminação do solo.

Para estimar a carga poluidora gerada pelos grupos de usuários, são utilizados os dados censitários correspondentes à percentagem de

população sem rede de esgotamento sanitário ou sem coleta de resíduo e a densidade demográfica. Então são basicamente três elementos que contribuem para a maior ou menor produção de poluição de maneira difusa: a percentagem de rede de esgotamento ou coleta de resíduo; o aumento populacional; e o regime de chuvas.

O efeito do percentual da população não atendida pela rede de esgotamento sanitário (%PopEsgoto) ou pelo serviço de coleta (%PopColeta) é representado por um coeficiente ($C_{\text{PopEsgoto ou Col}}$). A ideia é de que se existe certa quantidade de pessoas atendidas por estes serviços, então estes não contribuem para gerar poluição difusa, devendo a carga relativa a eles ser retirada. Como se considera que a densidade demográfica é homogênea então a concentração deve ser obtida em função desta densidade e por isso o coeficiente deve ser multiplicado pela concentração obtida e não pela densidade. Tendo a (Equação 6) que é a fração das pessoas não atendidas por um ou por outro serviço.

$$C_{\text{PopsemEsgoto ou Col}} = 1 - \frac{\% \text{PopEsgoto}}{100} * \frac{\% \text{PopColeta}}{100} \quad \text{Eq.(6)}$$

Sabendo se a concentração do poluente gerado (sedimentos), resta saber qual o volume d'água esgotado superficialmente que os transporta, para estimar as cargas totais produzidas. Sabe-se que o regime de chuvas varia bastante, tanto em intensidade, quanto em duração e em frequência de ocorrência. Ao se trabalhar numa escala de tempo mensal, a duração e a intensidade das chuvas tornam se menos relevantes, pois se estará buscando um volume médio mensal.

Considerando-se os dados de precipitação média mensal entre os períodos de 1986 a 2015 da estação Florianópolis, monitorada pela Epagri e Inmet (Código 02748006) localizada nas coordenadas 27°36'07" de latitude Sul e 48°37'11" de longitude Oeste, a 1,84m de altitude. Dados que serão inseridos no setor de poluição na no modelo desenvolvido com o fim de estimar o valor da carga poluente num determinado tempo.

Tendo em conta que o volume escoado superficialmente é apenas uma fração do volume precipitado, para se obter o volume escoado, pode-se utilizar o coeficiente de escoamento (C_{es}), sendo a relação entre o escoamento superficial e o total precipitado. Para seu calculo, pode-se fazer uso de expressões empíricas tal como a Equação

7, desenvolvida por Tucci (2001) a partir de dados de 11 bacias brasileiras (7 em Porto Alegre, 2 em Joinville, 1 em Curitiba e 1 em São Paulo) e relaciona o coeficiente de escoamento como o percentual da área total impermeabilizada ($0 \leq AI \leq 100$).

$$C_{es} = 0.047 + 0.9 * \frac{AI}{100} \quad \text{Eq.(7)}$$

Tendo em conta, que a expressão anterior foi ajustada para alguns eventos de chuva, o volume escoado real pode estar sendo subestimado, uma vez que o intervalo de tempo adotado (diário) e o tamanho relativamente pequeno da bacia nos faz supor que toda a água já tenha alcançado o exutório. É importante salientar que o coeficiente de escoamento obtido para períodos mais longos tende a ser maior.

Por sua vez, o percentual da área total impermeabilizada numa bacia pode ser relacionado com a densidade demográfica através da Equação 8, desenvolvida por Tucci (2001):

$$AI = 0,489 * Dh, \text{ para } Dh < 120 \text{ hab/ha} \quad \text{Eq.(8)}$$

Segundo o autor, a expressão é válida para $Dh < 120 \text{ hab/ha}$ e para bacias de área superior a 2 km^2 , com ocupação predominantemente residencial. Em caso de obter uma relação de densidade demográfica maior que 120 hab/ha , foi ajustada uma nova equação (equação 9) baseada nos dados de Campana e Tucci (1994). O critério de definição do limite superior obedeceu ao fato de que para valores cada vez mais altos de densidade, a percentagem de áreas impermeáveis cresce cada vez menos, tanto que a densidade de 500 hab/ha corresponde a uma percentagem de 87% de áreas impermeáveis, o que é bastante razoável. A equação segue válida até 740 hab/ha , quando se começa a considerar arbitrariamente o valor constante de 95% para o percentual de áreas impermeáveis.

$$AI = 19,92883 * \ln(Dh) - 36,72911, \\ \text{para } 120 \frac{\text{hab}}{\text{ha}} \leq Dh \leq 740 \frac{\text{hab}}{\text{ha}} \quad \text{Eq.(9)}$$

2) Usuários com rede de esgotamento sanitário

A poluição neste caso é devido ao erro de ligação, pois se lança os efluentes na rede pluvial ao invés da rede de esgotamento sanitário. É de considerar que esta poluição pontual, sendo analisado sob a ótica que esta parcela do esgoto cloacal segue pela rede pluvial até ser lançada diretamente no rio e em períodos contínuos de tempo.

Para calcular a carga de poluição pontual, temos que levarem em consideração os efluentes gerados por este percentual de ligações indevidas (%LigIndevida), considerados inicialmente como 10%, sobre o percentual da população atendida por rede de esgotamento sanitário ou pluvial dos dados agrupados por sub bacias dos setores censitários. Para o cálculo do volume de efluentes (equação 10) produzidos por uma Sub Bacia, é utilizado o valor médio de consumo d'água per capita da população (Qhab), adotado inicialmente como 250 l hab⁻¹dia⁻¹. Como apenas parte desta d'água retorna como efluente, então utiliza-se um coeficiente de retorno (Cret) do consumo, o qual assume inicialmente o valor de 80%. Sabe-se que o consumo é influenciado não somente por questões higiênicas, como também por razões sociais, tais como a renda ou até hábitos particulares.

$$\text{VolEfluentes} = \left(\text{Pop} * \% \frac{\text{PopEsgoto}}{100} * \% \frac{\text{LigIndevida}}{100} \right) * (\text{Cret} * \text{Qhab}) \quad \text{Eq.(10)}$$

Assim, sabendo-se o volume de efluentes (VolEfluentes) lançados pontualmente, calcula-se a *Carga de Poluição* inicial (equação 11) lançada pelo produto do volume entre a *concentração típica de ST no esgoto doméstico* de ST = 500 mg/l, estipulado na Resolução CONAMA no 357(BRASIL, 2005).

$$\text{Carga de poluição inicial} = \frac{\text{VolEfluentes}}{\text{Concentração Típica dos Esgotos domésticos}} \quad \text{Eq.(11)}$$

3.5.6. Aplicação da dinâmica de sistemas na estimativa da carga poluente avaliado pelo Método Simples de Schueler

Para o cálculo da remoção dos Sólidos Totais de uma área específica no ponto de coleta da drenagem urbana, o método simples de Schueler foi integrado ao corpo do modelo de Dinâmica de Sistemas no setor de poluição, a fim de determinar a remoção de sedimentos

alimentando os valores de cargas pontual e difusa e assim poder estimar em sua totalidade a quantidade de sólidos veiculados na drenagem urbana, ou seja, a quantidade total de material poluidor que esta sendo gerado na bacia hidrográfica, e assim conseguir ter uma visão mais ampla do problema ambiental que representa.

O uso dos resultados da informação da RUSLE como equação principal para saber a quantidade de sedimentos gerados no ponto coleta da drenagem, mais a junção do método simples para assim poder obter os dados mais pontuais das cargas poluentes dos sedimentos que são escoados superficialmente por efeito das precipitações, e assim com a soma da quantidade de resíduos sólidos coletados conseguindo obter a quantidade total de resíduos sólidos totais que atingem a drenagem urbana do rio do Meio da bacia de Itacorubi, de forma que a interação de diferentes formulações encaixadas como modelos da dinâmica de sistemas permitindo adotar uma visão mais holística das praticas de geração, tratamento e possível gestão dos resíduos sólidos urbanos.

Schueler (1987) apresentou um método empírico denominado “Método Simples” para estimar o transporte de poluição difusa urbana em uma determinada área (Tomaz, 2009).

O método foi obtido através de exaustivos estudos na área do Distrito de Washington nos Estados Unidos chamado National Urban Runoff Program (NURP), conforme Akan, (1993) citado por Tomaz (2010).

O Método Simples de Schueler é amplamente aceito e requer poucos dados de entrada e é ainda utilizado no Estado do Texas e no Lower Colorado River Authority, 1998.

Akan, (1993) salienta que os estudos valem para áreas menores que 256 ha e que são usadas cargas anuais.

Pelo método simples podemos estimar a carga de poluentes segundo a equação 12:

$$L= 0,01 \times P \times P_j \times R_v \times C \times A \quad \text{Eq.(12)}$$

Sendo:

L= carga de poluição em kg

P= chuva em milímetros, anual ou no intervalo desejado.

P_j= fração da chuva que produz runoff. Normalmente adotado P_j=0,90

R_v= *runoff* volumétrico obtido por análise de regressão linear.

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI$$

AI= área impermeável em porcentagem.

A= área em hectares

C= carga de poluição da concentração média em mg/L

- Valor de P_j

O fator P_j assume valor unitário para eventos isolados; para o cálculo anual ou sazonal pode ser retratado pelo percentual médio nesse intervalo de tempo dos eventos chuvosos que produzem escoamento. Para o território americano, adota-se, em geral, o valor 0,90. O valor de P_j usualmente é 0,90 para precipitação média anual, mas pode atingir valor $P_j = 0,5$ e para eventos de uma simples precipitação $P_j = 1,0$.

- Valores de C

Conforme as pesquisas feitas por Schueler, (1987), Akan, (1993) e McCuen, (1998) citadas por Tomaz (2010) a respeito dos valores médios da carga de poluição C em mg/L, é possível concluir a dificuldade de se estimar o valor de sólidos totais em suspensão TSS, pois o mesmo varia de 114mg/L até aproximadamente 4000mg/L dependendo se existe solo nu ou muitas obras em construção. O valor de C no presente trabalho foi obtido pelo uso da fórmula empírica da RUSLE, com a predição da perda do solo, a fim de poder encontrar a quantidade de sólidos totais suspensos na drenagem urbana.

- Valores de R_v

Schueler (1987) obteve relação de primeiro grau entre o coeficiente de escoamento superficial e o percentual de área impermeável, com coeficiente de determinação superior a 0,70, para cerca de 50 pequenas bacias urbanas americanas. Também formulou a seguinte relação entre o coeficiente de escoamento (C_{es}) e a fração impermeável (AI) da área analisada.

3.5.7. Medidas de combate à poluição difusa e pontual

São **medidas de combate à poluição difusa** podem ser elas estruturais ou não estruturais em função do grau de remoção dos poluentes. Porto (1995) alista uma série de medidas que podem ser feitas, a citar:

Estruturais: minimização da área diretamente conectada mudando o fluxo do escoamento das áreas impermeáveis, instalação de faixas ou valetas gramadas aumentando a oportunidade de infiltração, construção de bacias de detenção secas ou alagadas funcionando como reservatório que retém os poluentes e sedimentos e utilização de pavimentos porosos ajudando a infiltração d'água e retenção de sedimentos.

Não estruturais: controle do uso do solo urbano, regulamento para áreas em construção, manutenção e criação de áreas verdes, controle de ligações clandestinas de esgotos na rede pluvial, varrição das ruas, controle da coleta e disposição final dos resíduos e educação da população.

Apesar de não ter os percentuais de remoção dos poluentes em cada medida, seus custos associados ou até mesmo a possibilidade de se aplicar estas técnicas, estas medidas de redução são consideradas no modelo como “*medidas alternativas de combate à poluição difusa*”, constituindo-se apenas de um percentual de remoção oscilando entre 0 e 100% e incidindo diretamente no valor final da carga difusa produzida. Dando assim uma ideia de quanto ainda é necessário se fazer para que a poluição total seja reduzida a níveis aceitáveis, e se é viável ou não combater a poluição difusa.

No caso das **medidas de combate da poluição pontual**, a medida estrutural a se fazer é a própria ampliação ou substituição das redes de esgotamento existente, além do reparo das ligações clandestinas. No modelo, essas medidas **estruturais** são simuladas pela própria alteração dos percentuais das redes de esgotamento e das ligações indevidas.

Como medidas **não estruturais**, pode-se citar o comportamento da população em relação ao lançamento indevido de resíduos sólidos. Entre suas possíveis medidas de combate são consideradas no modelo como “*medidas alternativas de combate à poluição pontual*”, que também são representadas por um percentual entre 0 e 100% incidindo

diretamente sobre o valor final da carga pontual produzida numa determinada sub-bacia.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A figura 6 mostra o fluxograma metodológico do trabalho, onde o sistema e estruturação do trabalho foram divididos em seis etapas:

A *primeira etapa* é a entrada de dados que corresponde à obtenção de cada um dos dados qualitativos e quantitativos referente ao sistema em análise.

- Dados de resíduos sólidos obtidos em coleta de amostras na rede coletora instalada;
- Dados cartográficos utilizados para o ambiente SIG foram gerados de imagens ou arquivos vetoriais criados no ArcCatalogem formato reconhecidos pelo ArcGIS sendo utilizados arquivos de imagens raster em formatos JPEG, TIF GRID ou BMP obtidos diretamente por Google Earth a fim de ser analisados;
- Dados censitários foram obtidos em pesquisa da literatura vigente no Brasil e de pesquisas realizadas;
- Dados climáticos obtidos pela estação pluviométrica (Código 02748006) monitorada pela Epagri;
- Os dados da RUSLE foram obtidos com dados de entrada coletados em campo, e pela informação gerada e realimentada pelos valores gerados pelo ambiente SIG.

A *segunda etapa* é a análise exploratória visa com o processamento da coleta dos dados a construção do modelo causal das variáveis endógenas e exógenas selecionadas a fim de entender sistematicamente o funcionamento e comportamento do sistema analisado.

A *terceira etapa* é a modelagem que corresponde à construção do esboço principal do modelo da Dinâmica de Sistemas no software Stella, conformado pelos diferentes setores que compõe os diferentes sistemas analisados, além das análises dos dados gerados após a instalação da rede coletora de resíduos sólidos, valores que alimentam diretamente as variáveis de entrada do modelo construído.

A *quarta etapa* é a calibração e validação do modelo. Na calibração tenta-se fazer com que os resultados do modelo se assemelhem, ao máximo, aos resultados da medição, com isso o modelo é “calibrado”

quando os seus resultados representam, de forma próxima a realidade, o processo pretendido, na “validação” utiliza-se o modelo calibrado para realizar simulações de uma nova série de dados de campo de aqueles parâmetros que que não seja aquela que foi utilizada na etapa de calibração. Ao comparar os resultados entre a simulação do modelo e as observações reais, pode-se ter ideia se o modelo realmente representa de forma real o processo modelado.

A *quinta e sexta etapas* correspondem ao prognóstico e análises de resultados, nestas etapas os resultados gerados pelo modelo dinâmico de sistemas construído, são analisados por separado e os valores gerados em cada um dos setores são interpretados e comparados com resultados de trabalhos anteriores realizados por outros autores a fim de gerar uma melhor estimativa nos resultados no intuito de ser utilizados pelos órgãos de controle de saneamento ambiental da cidade, na elaboração de diretrizes e assim diminuir a poluição na rede de drenagem urbana.

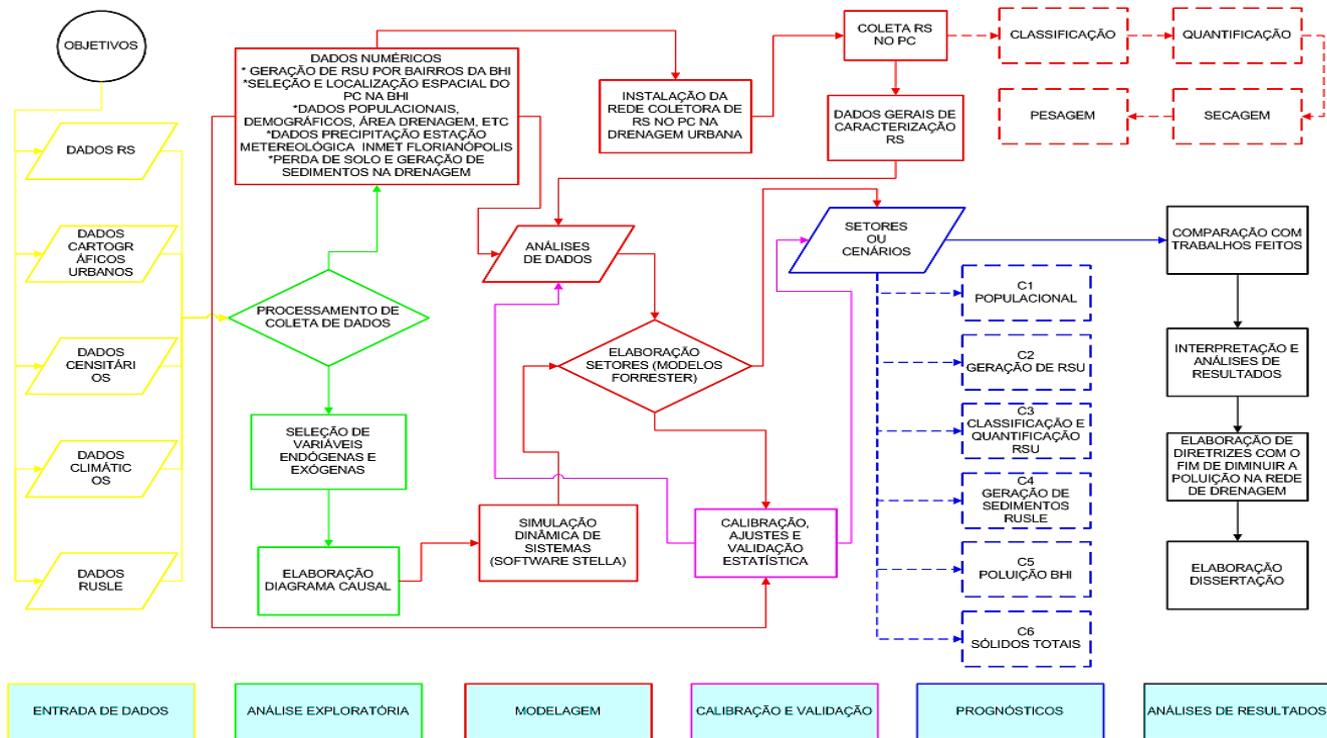


Figura 6 Fluxograma metodológico do estudo.

4.1. ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Itacorubi (BHI) está localizada no município de Florianópolis, na região centro-oeste da Ilha de Santa Catarina ($27^{\circ}34'35''$ - $27^{\circ}37'57''$ de latitude Sul e $48^{\circ}28'25''$ - $48^{\circ}33'00''$ de longitude Oeste) (Figura 7).

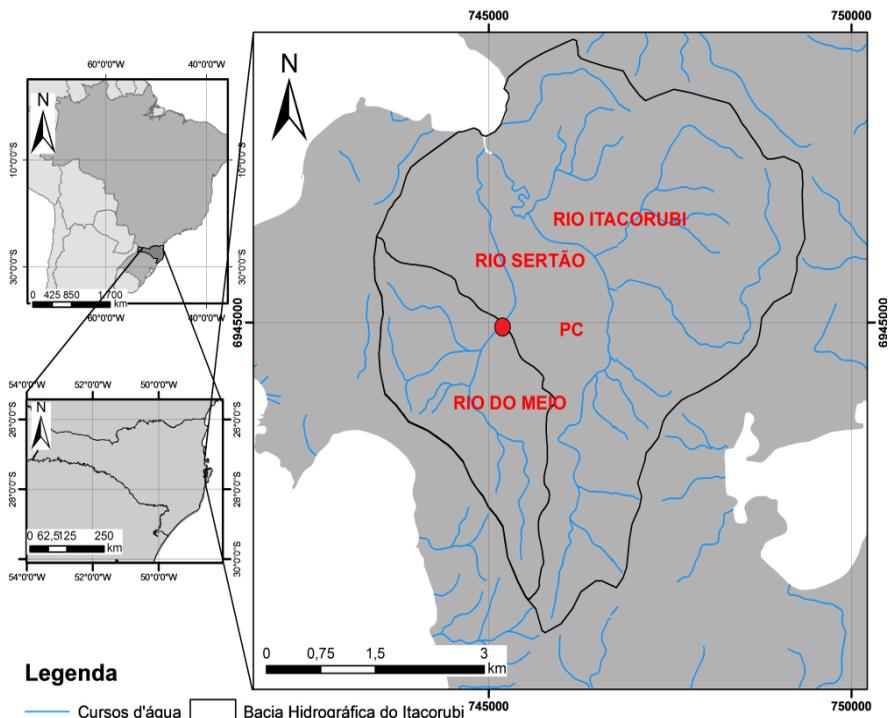


Figura 7 Localização da Bacia Hidrográfica do Itacorubi, Florianópolis-SC.

Esta bacia possui uma área de drenagem de 23 km² e é drenada pelos rios do Sertão, Córrego Grande, Itacorubi e seus afluentes, além de alguns canais de drenagem menores (Collares *et al.*, 2004). Na área de estudo, a rede hídrica que constitui o sistema de drenagem natural da bacia hidrográfica do Itacorubi, está formada por dois tributários principais, denominados rio Itacorubi e Rio do Sertão, conforme figura 1.4. O Rio Itacorubi abrange 6.922m dentro da área estudada, e o rio do

Sertão, 3531m (LABDREN, 2002). O sentido do escoamento do Rio do Meio é de Sul para Norte, da Cabeceira até a formação do manguezal, derivando para o quadrante Noroeste (NW) até o exutório da Bacia

Nos últimos anos vem ocorrendo um aumento da população na área em função do da grande evolução na construção civil em Florianópolis (Carvalho, 2010). Essa ocupação tem trazido prejuízos ambientais para a BHI, pois tem ocasionado desmatamento e ocupação de encostas de modo irregular, ocupação em área de mata ciliar, entre outros (Campos, 2004).

A população que convive ou circula na área sofre constantemente com a poluição, o mau aspecto das águas e os odores desagradáveis.

Na rede hidrográfica da bacia encontram-se afluentes assoreados e poluídos que resultam de uma ocupação com fossas sépticas e sem rede de esgotos. Muitas pessoas chegam a construir fossas e não se preocupam em conectar seus esgotos domésticos à rede de esgotamento sanitário existente.

4.2. LOCAIS E ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO

O monitoramento da precipitação pluviométrica e a coleta de resíduos sólidos foram realizados por meio de uma estação pluviométrica e uma rede de retenção de resíduos sólidos respetivamente. A estação de monitoramento pluviográfica foi monitorada pela Epagri e pela Inmet.

A Figura 8 mostra a localização da bacia hidrográfica do Itacorubi e do ponto de coleta (PC1) situado no Rio do Meio, que faz parte da bacia hidrográfica do Campus da UFSC (4,5 km²), inserida na bacia do Itacorubi. Seu sistema de drenagem natural é formado pelo rio do Meio e seus afluentes, os rios Serrinha, Pantanal, Cesar Seara, Eletrosul e Carvoeira.

A bacia do Campus da UFSC é uma bacia de terceira ordem, segundo a hierarquização de Strahler. O rio principal, denominado de rio do Meio, possui aproximadamente 4,0 km de comprimento e uma declividade de 0,0893 m.m⁻¹, com escoamento na direção de sul para norte, desde a cabeceira (360 m de altitude) até o exutório da bacia (altitude de 3 m) que deságua no manguezal do Itacorubi (Mulungu, 2012).

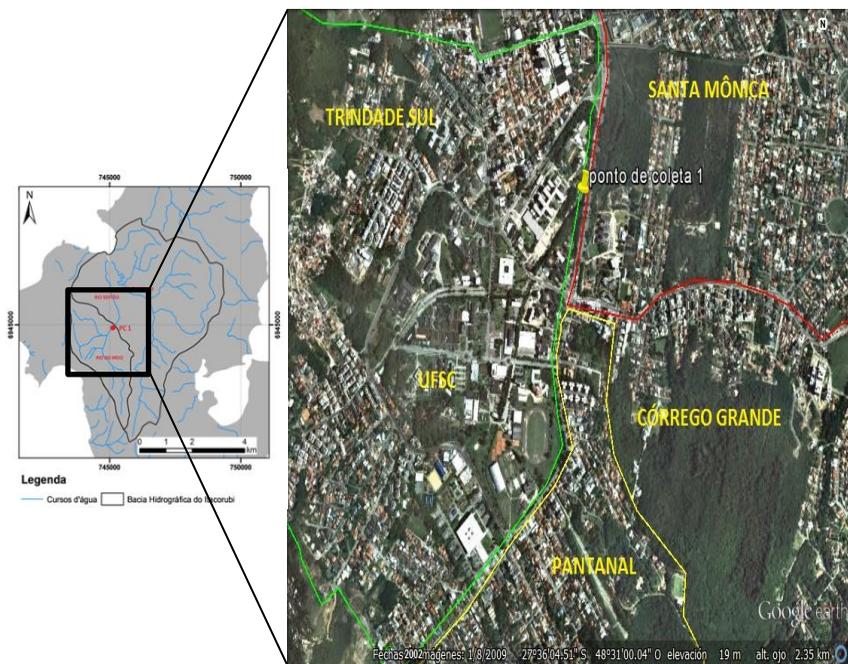


Figura 8 Localização do ponto de coleta

A estação pluviográfica é provida de um pluviógrafo digital do tipo Pluvio-OTT, configurado para registrar os dados em intervalos de tempo de 1 minuto de, no mínimo 0,01 mm de precipitação pluviométrica acumulada neste período. Este dispositivo registra continuamente a intensidade de precipitação, discretizada conforme a necessidade do usuário.

4.3. DADOS CENSITÁRIOS

A bacia do Itacorubi engloba oito (08) setores censitários na cidade de Florianópolis, sendo necessário obter a delimitação dos dados censitários, a fim de facilitar a medição da população. A população para a área de estudo foi de 20.001 compreendendo os bairros Trindade Sul e Pantanal, sendo os que afetam diretamente a drenagem urbana do rio do Meio, valores obtidos segundo Campanário (2007) (Tabela 10) tendo em conta que a população total da cidade de Florianópolis ascende a

453.285 habitantes segundo o SEBRAE/SC-2013 e com base em dados do IBGE - apoiados nos Censos Demográficos de 2000 e 2010. Os dados obtidos são referentes ao tamanho e distribuição da população, ao percentual da população conectada à rede de abastecimento, ao percentual da população com rede geral de esgotamento sanitário e ao percentual da população com coleta de resíduo, da mesma forma segundo o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos- PGRS (2011) do município de Florianópolis, e baseado nos dados do Censo 2010 do IBGE a geração de resíduos sólidos também aumentou no mesmo período, passando de 155.771 toneladas, no ano de 2000, para 167.636 ton ano⁻¹, no ano de 2014, por conseguinte os bairros analisados no presente estudo geram aproximadamente 7.396 ton ano⁻¹ de resíduos urbanos.

Tabela 10 População estimada 2010 – 2015 bairros Florianópolis

N	Bairro	2010	2015
1	Agronômica	20.826	24.599
2	Trindade Sul	10.046	11.359
3	Saco dos Limões	16.678	19.518
4	Pantanal	7.711	8.642
5	Santa Mônica	7.397	8.401
6	Itacorubi Sul	7.191	8.710
7	Córrego Grande	8.359	10.061
8	João Paulo	4.866	5.664

Fonte: adaptado de Campanário (2007).

A síntese dos dados do ano 2015 sobre os serviços de esgotamento sanitário, coleta de resíduo e abastecimento d'água nos setores censitários que fazem parte da bacia de Itacorubi variam em função de possíveis zonas pobres nos setores, onde a ocupação poder ter sido mal manejada, ou em localidades com baixas densidades demográficas, onde a instalação de redes de abastecimento e esgotamento sanitário é muito onerosa.

Foi feito um agrupamento dos bairros que afetam diretamente o rio do Meio e os dados referentes à população e os dados percentuais de atendimento dos serviços sanitários (Tabela 11). Para realizar este

agrupamento foram calculadas as áreas de cada setor em cada bairro e utilizados os dados de população e atendimento à população pelos serviços citados em nível de setor censitário.

Tabela 11 Agrupamento dos dados censitários por bairros

Bairro	Área de Drenagem km² (ha)	Pop. 2015	Dens. Dem. (hab ha⁻¹)
Trindade Sul	8,22	11.359	1.381
Pantanal	5,61	8.642	1.540

Com isso, apenas 39% da população residente era atendida no ano 2010 por coleta pública de esgoto sanitário, enquanto que em relação a população total, estes números caíram para 26%, devido principalmente a população flutuante em períodos de alta temporada. Atualmente a 54% da População possui atendimento de redes de esgotamento sanitário ou pluvial, em relação à população residente mais a População com coleta de RSU foi de 98%. Esta situação torna-se preocupante tendo em vista a fragilidade ambiental que caracteriza a cidade de Florianópolis e o progresso lento na ampliação dos sistemas existentes e implantação de sistemas nas regiões não atendidas.

Para construir os diferentes setores no modelo de DS foram analisados os dados de população dos bairros que afeta diretamente o rio que escoar os resíduos sólidos sendo os bairros de Trindade Sul e Pantanal; os dados de taxa de crescimento médio anual, mortalidade infantil e de migração e emigração da população de Florianópolis.

Em função disto estima-se segundo o SEBRAE/SC-2013 e com base em dados do IBGE - apoiados nos Censos Demográficos de 2000 e 2010 a taxa de crescimento médio anual na cidade de Florianópolis é de 2,31%, mas com uma taxa bruta de natalidade de 13% para o ano 2011 valores adotados no modelo da dinâmica de sistemas (SIM, 2011b). Em 2010, a taxa bruta de mortalidade adotada para a cidade de Florianópolis é de 8,46% segundo SIM (2011). O saldo migratório foi fixado em 2,6% do saldo observado no ano 2000 (Da Mata *et al.*, 2007).

4.3.1. Estimativa do volume de efluentes na rede pluvial

Nas bacias urbanas uma das principais fontes de poluição pontual está relacionada aos lançamentos de efluentes devido às ligações irregulares de esgoto cloacal na rede pluvial, estimado em um 10% das

ligações. A produção per capita de efluentes e a concentração dos diversos poluentes nestas águas podem ser estimados a partir de valores médios apresentados na literatura, no limite máximo de 500 mg/L estipulado na Resolução CONAMA no 357 (BRASIL, 2005) para rios classe 2..

No caso da poluição gerada por uma população, o volume de efluentes pode ser estimado como uma fração do volume d'água consumido. Normalmente se adota um consumo per capita entre 150 e 300 l/hab.dia e um coeficiente de retorno (vazão de esgotos / vazão d'água) de 80%.

4.3.2. Consumo d'água per capita

O consumo médio diário per capita no Brasil, segundo os dados coletados pelo Sistema Nacional de Informações de Saneamento – SNIS (2014), ano base 2013, é de 166,3 litros por habitante por dia. Santa Catarina situa-se abaixo da média nacional, mas muito próximo da média da Região Sul, com uma média de 157,1 l hab⁻¹ dia⁻¹. Para os cálculos deste setor foram considerados os seguintes parâmetros: (i) consumo per capita de 250 l hab⁻¹ dia⁻¹, segundo a CASAN; (ii) taxa de retorno de esgoto (relação água/esgoto) de 0,8, (PMISB, 2010).

4.4. COLETA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

As coletas foram realizadas no trecho do Rio do Meio da bacia Hidrográfica do Itacorubi, no período de 24 de abril até 24 de novembro de 2015, após cada evento de precipitação pluviométrica, em que o em que o resíduo sólido retido na rede de retenção foi quantificado e qualificado segundo a classificação da matéria orgânica e inorgânica seguindo a distribuição pelo padrão de cores na resolução CONAMA 275/2001. No total foram realizadas 38 coletas de resíduos sólidos na estrutura de retenção.

4.4.1. Estrutura de retenção dos resíduos sólidos urbanos

Para conter retenção do material lançado no sistema da drenagem foi instalada uma rede com base em outras existentes, feitas de telas de aço com malha de 70 mm, instaladas transversalmente ao eixo da drenagem, possibilitando a retenção e análise da maioria dos

resíduos sólidos transportados. As mesmas foram presas à vegetação existente nos locais de amostragem, através de tiras de aço galvanizado de 5 mm de espessura foi escolhido o ponto do rio de coordenadas geográficas 27°35'43.99"S, 48°30'52.14"O.

A escolha da rede de retenção e sua altura foram determinadas com a finalidade de evitar que precipitações intensas bloqueiem a passagem d'água pluvial, podendo ocorrer inundações à montante, arrastamento da rede a jusante, um potencial assoreamento do arroio, e ainda, o perfil do solo nas margens do corpo d'água exibia propensão a um possível desmoronamento. Para que isso não acontecesse, a estrutura foi dimensionada para que cedesse caso houvesse alguma força desproporcionalmente maior que a suportada, ocasionada por entupimentos da rede pelo acúmulo de material fazendo com que a vazão com força exercida na rede desviasse do seu foco original e sendo direcionada para os lados causando danos à região às margens da rede de retenção.

Os resíduos retidos foram separados segundo a classificação adotada e pesados após estarem secos, obtendo-se a composição gravimétrica do material. Realizou-se também a contagem do material segundo a classificação adotada, par a melhor análise dos dados. Todo o processo de separação e pesagem foi realizado no LARESO. Os resultados, juntamente com algumas informações referentes às datas de coleta, pesagem e condições climáticas. Na Figura 9 é apresentada a estrutura de retenção de resíduos sólidos instalada no local.



Figura 9 Estrutura de retenção de resíduos sólidos instalada no Rio do Meio

Os resíduos sólidos drenados foram secos em estufa a temperaturas de até 55°C. Na Figura 10 pode ser visualizada a estufa.



Figura 10 Estufa de secagem - LARESO

A separação foi realizada manualmente, com a utilização de luvas. Para a obtenção da massa de cada classe foi utilizada uma balança com precisão de 200gr e com capacidade máxima de 30kg (Figura 11).



Figura 11 Balança de pesagem - LARESO

4.4.2. Monitoramento dos Resíduos Sólidos

O trabalho de monitoramento de eventos de precipitação pluviométrica foi iniciado pelo acompanhamento da previsão do tempo. Ao final de cada evento pluvial foi necessário um número mínimo de duas pessoas para a retirada dos resíduos sólidos retidos pela rede de retenção, com auxílio de enxadas, pás, rastelos, sacos plásticos e luvas para então serem levados para a estufa de secagem do LARESO (Figura 12 e 13) para ocorrer o escoamento do excesso de umidade dos materiais.

O tempo esperado para o escoamento do excesso de umidade dos resíduos era de aproximadamente 2 (dois) dias para então ser feita a separação gravimétrica dos resíduos e sua classificação em resíduos orgânicos e inorgânicos.



Figura 12 Coleta dos resíduos sólidos



Figura 13 Disposição dos resíduos sólidos na estufa do LARESO para sua secagem e escoamento do excesso de umidade

A qualificação e quantificação dos resíduos sólidos foram compiladas de acordo com suas características, dentro do grupo inorgânico ou orgânico (Tabelas 12 e 13), no qual foi adaptado a partir do padrão de cores conforme a Resolução do 67 CONAMA n. 275/2001 de acordo com a metodologia utilizada por Salles (2010).

A Resolução CONAMA n. 275/2001 não determina cores para resíduos classificados como “outros” e cores A ou B, por conseguinte, foi adotada para o caso de uma provável ocorrência de resíduos sólidos não aplicados entre os referidos e também para complementar a falta de cores.

Tabela 12 Padrões de cores da matéria orgânica

MATÉRIA ORGÂNICA	PADRÕES DE CORES
Restos de alimentos	Marrom A
Restos de Vegetação	Marrom B
Madeira processada	Preto A

Tabela 13 Padrões de cores da matéria inorgânica

MATÉRIA INORGÂNICA	PADRÕES DE CORES
Plástico	Vermelho
Metais	Amarelo
Vidro	Verde A
Tecidos e Isopor	Verde B
Papéis	Azul
Pneus e borrachas	Preto B
Resíduos perigosos	Laranja
Resíduos ambulatoriais, de serviços de saúde e Animais.	Branco
Outros	Outros

4.5. MODELAGEM DA DINÂMICA DE SISTEMAS

Com o intuito de analisar mais elementos do complexo problema da geração e veiculação de sólidos totais na drenagem urbana será utilizado um modelo de dinâmica de sistemas. O modelo de simulação tentará contemplar as complexas relações entre crescimento populacional, geração e transporte de sedimentos e de resíduos sólidos na drenagem urbana da bacia hidrográfica do Itacorubi, em Florianópolis – SC.

O desenvolvimento do modelo foi feito por meio de linguagem de programação computacional usando o software Stella, o que permitirá uma maior flexibilidade na caracterização dos processos e na forma de apresentação do modelo.

O uso do software possibilita que o modelo seja construído com uma interface amigável que permitirá a realização de alterações dos parâmetros durante a simulação e possibilitará que o sistema possa ser estudado ao longo do tempo.

A escala de tempo proposta para o modelo de simulação dinâmica deste trabalho é anual, por um tempo de 35 anos. Esta escolha foi feita levando-se em conta que o interesse de caracterização é para fins de gestão de bacia num nível preliminar, já que a adoção de intervalos inferiores exigiria um nível maior de detalhamento dos processos físicos envolvidos.

Vale ressaltar que um dos elementos mais importantes no sistema é a precipitação, que influencia no processo de transporte de

poluentes pelo escoamento superficial. Além disso, a precipitação por si só já apresenta uma grande variabilidade espacial e temporal, que iria impor muitas dificuldades sem melhoria dos resultados, e assim, assume-se que os resultados obtidos pelo modelo representam uma estimativa dos valores médios mensais.

4.5.1. Diagrama causal

O primeiro passo, para representação física do modelo da dinâmica de sistemas envolve a elaboração do Diagrama Causal. Para isso inicialmente foram determinadas as variáveis endógenas, que são as variáveis que de uma ou outra maneira podemos controlar e medir, estimando assim sua ocorrência, obtendo a maioria destas por revisão bibliográfica, como por exemplo, geração e composição dos RSU, proporção dos resíduos segundo sua classe, número de sistemas de esgoto disponíveis entre outras, e as variáveis exógenas, sendo estas obtidas por meio de análises estatísticas e de laboratório, como ocorrência variável no tempo, sendo algumas delas, projeção da população, estimação da taxa de geração dos RSU, indicadores de qualificação dos serviços de cada setor de saneamento básico; variáveis coletadas que sendo analisadas e conformam vários fatores que se combinam para gerar as situações e problemáticas estudadas.

No diagrama causal (Figura 14) está uma síntese destas problemáticas. Por exemplo, o diagrama indica como o crescimento da população aumenta o lançamento das águas residuais domésticas aos cursos d'água. Esses lançamentos clandestinos afetam negativamente a qualidade d'água, o qual tem efeito na mesma direção na qualidade de vida, da qual depende a esperança de vida e o nível da população.

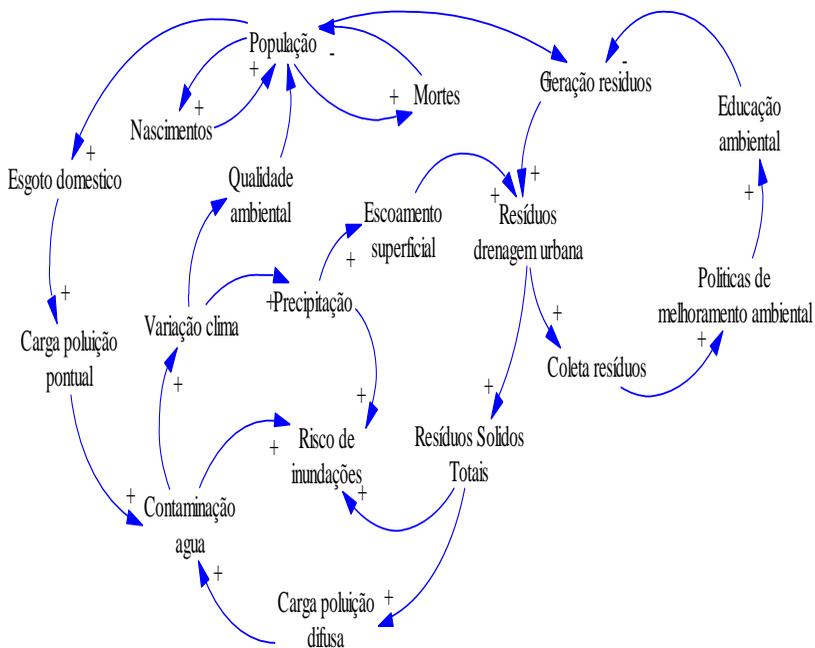


Figura 14 Diagrama causal da problemática geral da bacia hidrográfica do Itacorubi, Florianópolis (SC).

O modelo causal foi elaborado no software VENSIM, sendo este uma ferramenta de modelagem visual que permite conceituar, documentar, simular, analisar e aperfeiçoar os modelos de dinâmica de sistemas.

Ao ligar palavras com setas, às relações entre as variáveis do sistema são inseridos e registrados como conexões causais. Esta informação é usada pelo editor de equação para ajudá-lo a completar o seu modelo de simulação. O modelo pode ser analisado na sequência do processo de construção, a olhar para as causas e a relação de variáveis.

Para cada um dos setores do diagrama causal do modelo de simulação dinâmica serão delimitadas as variáveis do estudo aplicado na bacia do Itacorubi.

Após de estabelecer as possíveis variáveis que afetam nossa área de estudo, continua-se a construir os diferentes setores de

simulação com o software de STELLA, com o fim de analisar o comportamento em tempo real do objeto do presente estudo.

4.6. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO

Para estudar o comportamento real de um sistema, é necessário que o modelo consiga reproduzi-lo. De acordo com Forrester (1980), na Dinâmica de Sistemas, a validação dos modelos de simulação se julga de acordo com suas conveniências e utilidade. É preciso confiar em seu comportamento sob circunstâncias limitadas e de acordo com um objetivo específico.

Para Ruth e Hannon (1994), o modelo de simulação dinâmica deve somente capturar os fatores essenciais de um sistema real, sendo necessário abstrair os demais fatores. Sua validação deve ser considerada de acordo com a consistência lógica de sua estrutura interna.

O processo de validação de um modelo base em Dinâmica e Sistemas tem como alvo principal estabelecer a sua validade estrutural com respeito aos objetivos para que ele fosse construído: este é o aspecto determinante. Isto porque a intenção de um estudo conduzido sob esta ótica é servir de base para a avaliação de diferentes estratégias e políticas que permitam melhorar o desempenho do sistema (Orellana González, 2006).

Contudo, aperfeiçoar o comportamento de um sistema, só tem sentido a partir do momento em que se tem a confiança na estrutura do modelo. Uma vez que este é construído de forma confiável, devem-se efetuar testes de validação cuja ênfase deve ser orientada prioritariamente aos padrões de predição, mas do que a resultados precisos, particularmente, quando se trata de modelos projetados para fornecer uma visão de longo prazo do comportamento dos sistemas em estudo (Barlas, 1996).

Um assunto importante de mencionar é que a validação de um modelo a traves de uma serie de dados é puramente operacional. Nesse aspecto a correspondência entra a saída do modelo e os dados observados não garante que a base científica do modelo e sua estrutura interna corresponda aos processos atuais ou as relações causa-efeito que operam no sistema real. Ainda que seja paradoxo não é certo que boas predições possam ser obtidas, só a partir de um modelo mecanicamente correto (Rykiel, 1996).

A validação do modelo de simulação dinâmica deve ter em consideração à consistência ou à lógica de sua estrutura interna (Ruth e Hannon, 1994). Para estudar o comportamento real de um sistema, é necessário que o modelo consiga reproduzi-lo (Forrester, 1961; Ithink Analyst, 1997; Grcic e Munitic, 2005; Sterman, 2005). A validação dos modelos de simulação é julgada pela sua conveniência e utilidade (Forrester, 1980).

A validação de um modelo é a demonstração de que seu formalismo está correto; em outras palavras, que o código do programa e a matemática são mecanicamente corretos. A calibração é a avaliação e o ajuste dos parâmetros e constantes do modelo para assim melhorar a concordância entre os resultados a serem obtidos e o conjunto de dados iniciais (Rykiel, 1996).

Assim que a validação consiste em testar as concordâncias entre o comportamento do sistema e o do mundo real sendo modelado. O trabalho dos autores refere-se à validação de sistemas. Os mesmos autores a dividem em duas principais categorias: a validação quantitativa e a qualitativa. As técnicas qualitativas dependem da avaliação subjetiva do sujeito. A validação quantitativa emprega a estatística para verificar o desempenho do sistema em campo de testes (Borenstein, 2000). Os tipos de validação podem ser visualizados a seguir na Tabela 14.

A validação do modelo de simulação deu-se em diferentes etapas do seu desenvolvimento. Na primeira fase de validação (modelo conceitual) foram utilizados dados de artigos científicos, de manuais técnicos referentes à área hidrologia e também, obtida com a participação de especialistas na área, aqui fica caracterizada a validação nominal, visto que foram utilizados especialistas para definirem as variáveis importantes na modelagem proposta. Na segunda fase de validação, quando da implementação no simulador Stella (ISEE Systems, 2015), foram utilizados dados atuais de precipitação correspondente ao ano em curso segundo os dados gerado pela estação pluviométrica “Florianópolis-Automática” monitorada pela EPAGRI e pela INMET, além dos dados das quantidades de resíduos sólidos coletados em cada evento de precipitação na rede coletora instalada na drenagem, para a verificação da integração entre os módulos componentes do modelo, bem como dos resultados gerados, pois foram avaliadas as saídas produzidas pelo modelo de simulação a partir de dados reais fornecidos, tal fato denota o correto modelo.

Tabela 14 Tipos de validação de sistemas.

Tipo	Detalhes
Validação nominal	Baseada em especialistas, para verificar se o problema está bem formulado e contém as variáveis chave para a sua representação.
Validação de previsibilidade	Baseada em testes em laboratório do sistema, onde os resultados já são conhecidos e esperados.
Rastreamento	Impressão das variáveis de um programa logo após o evento ter ocorrido, para verificar se esse programa está funcionando de acordo.
Testes de Turing	Adequados para sistemas de conhecimento. Testa a compatibilidade do resultado do sistema com aquele utilizado por especialistas.
Validação de subsistemas	Consiste na decomposição do sistema em módulos e sua validação em partes.
Testes de campo	Consiste em fazer o sistema funcionar e verificar os erros de desempenho que ocorrem.
Análise de sensibilidade	Consiste em fazer alterações controladas nos inputs do sistema e verificar as alterações nas saídas.
Interação visual	Consiste em usar as capacidades visuais para observar o sistema em funcionamento.
Avaliação do usuário	Consistem em consultar o usuário final do sistema e após o uso questionar sobre algumas características do sistema.

Com isso na terceira fase de validação, foram utilizados procedimentos de integração ao modelo e comparação do comportamento do sistema com resultados de outros trabalhos relacionados diferentes estudos, além da análise da equação gerada pela curva de previsão de resíduos sólidos o qual permitira estabelecer a quantidade de resíduos sólidos drenados y que supostamente atingiria o rio do Meio, assim ficando validado, calibrado, e avaliado o modelo de simulação dinâmica proposto neste trabalho; sendo confiável e caracterizando adequadamente do sistema analisado. Esse tipo de validação pode-se reconhecer como análise de sensibilidade, visto que foram utilizadas variáveis controladas nos *inputs* e verificadas as variações nos resultados.

Na validação do modelo simulado, tomamos como ponto de partida um modelo conceitualmente validado (a RUSLE) e que há sido

revisado (tem-se revisado detalhadamente as equações e sua instrumentação no computador). Associado a isso segundo Manoj e Umesh (2000) o uso de metodologias de Sistema de Informações Geográficas (SIG) é adequado para a quantificação da heterogeneidade das características topográficas e de drenagem em uma bacia hidrográfica.

O mecanismo de integração do modelo RUSLE foi desenvolvido na plataforma SIG com o software ArcGIS, com esse *software*, interconectaram-se os elementos ambientais, físicos e hidrológicos que explicam a dinâmica de comportamento da geração de erosão a partir da perda do solo. Seguido a isto, as informações assim como os resultados foi integradas e analisadas pelo *software STELLA 9.0*. Parâmetros e coeficientes necessários para a condução das equações fundamentais, como a RUSLE, foram obtidos na literatura.

Como mencionado na parte de material e métodos, o modelo simula os processos da análise da “estimativa da erosão do solo com a RUSLE”, a “classificação e quantificação de resíduos sólidos carregados pela drenagem urbana”, e os “sólidos totais”, o anterior em função da afetação que produz o aumento o diminuição da população na geração de resíduos sólidos. A calibração desta classe de modelos pode ser feita com muita precisão, quando se tem dados suficientes para cada um dos processos incluídos em sua construção. Em geral para efetuar a calibração se requiere, de series de dados temporais de períodos longos, isso significa custos muito elevados, sendo em muitas ocasiões inacessíveis. Devido a essas limitantes é que o processo de calibração do modelo devera ser feito em outro estudo. Recomenda-se revisar os métodos de calibração de Villa *et al.* (2004) e programas que contam com ferramentas desenvolvidas especificamente para esse fim (Neitsch *et al.*, 2002).

4.7. METODOLOGIA DE TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Análises estatísticas possibilitam conhecer os intervalos de confiança para as estimativas das médias resultantes de métodos de caracterização realizados nesse trabalho. O intervalo de confiança significa a faixa de valores, tendo a média estimada como valor central, que com um determinado nível de confiança está incluída a média verdadeira. Nesse trabalho foi adotado um nível de confiança de 95%.

Em outras palavras, pode-se afirmar com 95% de confiança que a média verdadeira estará dentro da faixa de valores obtida.

Para o entendimento da Expressão da Incerteza de Medição, constatou-se que o cálculo do intervalo de confiança é feito a partir do número de amostras (n), utilizadas para a estimativa da média (\bar{x}), do desvio padrão ($dp = \sigma$), intervalo de confiança (μ) que é o valor que representa a dispersão dos dados obtidos das amostras, e do valor t da distribuição t de Student para 5% a fim de diminuir a incerteza do modelo (equação 13).

$$\bar{x} - t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu > \bar{x} + t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{Eq.(13)}$$

4.8. CURVA DE PREVISÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DRENADOS

Foi construída a curva de previsão de resíduos sólidos conforme Salles (2010) a fim de correlacionar por eventos de precipitação pluviométrica isolados, o total precipitado como o volume de resíduos sólidos drenados e carreados pelo escoamento superficial em uma bacia urbana. Esta curva foi ajustada em planilha Excel após a organização dos dados dos eventos monitorados que associam o total de resíduos com a precipitação pluviométrica. A avaliação do modelo de regressão de produção de resíduos sólidos drenados considera o coeficiente de correlação R^2 conforme a Equação 14 proposta por Lombardi Neto (1977).

$$\Sigma(Y-Y)^2 = \frac{\Sigma(Y-Y')^2}{\Sigma(Y'-Y)^2} = R^2 = \frac{\text{Variação explicada}}{\text{Variação total}} \quad \text{Eq.(14)}$$

Em que: “Y” é uma variável aleatória; “Y” valores estimados de Y, sendo a parcela de y que é explicada por x.

Com isto, se obteve a reta de regressão linear $y=f(x)$ que foi obtida em planilha Excel por meio da reta de regressão linear gerada a partir dos eventos monitorados com a retenção dos resíduos sólidos drenados. Com o uso da equação gerada pode-se fazer uma simulação da quantidade de resíduos sólidos drenados que supostamente atingiriam a drenagem do rio do Meio, sendo os dados de precipitação a variável

independente X e a incógnita Y os possíveis resíduos sólidos drenados carreados.

4.9. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Com a definição do diagrama causal (*causal loop diagram*), dos valores iniciais dos parâmetros e das relações comportamentais para cada um dos setores (*stock* e *flow maps*) foi possível fazer a simulação das variáveis de saída do modelo.

Após estas etapas, os dados simulados serão comparados com os dados monitorados de resíduos sólidos, sedimentos e na bacia estudada e com os resultados de outros trabalhos relacionados nas tabelas 2 e 7 relacionados no capítulo anterior deste estudo. Foi verificado se o modelo é capaz de reproduz o problema de comportamento de acordo com o seu propósito e serão realizados testes para avaliar a sensibilidade dos parâmetros e a confiabilidade do modelo.

O modelo final terá a facilidade de simular cenários para diferentes condições climáticas (usando diferentes períodos de retorno), em especial eventos extremos para analisar a relação entre a incidência da precipitação, o transporte de sedimentos e resíduos sólidos na drenagem urbana. Poderão ser simuladas projeções de mudanças de uso do solo (aumento da urbanização, diferentes características de erodibilidade do solo, fator topográfico, etc.) variáveis próprias da RUSLE. Ainda poderão ser simulados cenários para avaliar a eficácia de medidas estruturais de combate a poluição pontual e difusa (ampliação ou substituição das redes de esgotamento existentes, reparo das ligações indevidas) e não estruturais (aumento do percentual de coleta dos resíduos, mudança do comportamento da população, etc.).

Com o anterior o modelo poderá ser modificado através da interfase do usuário, permitindo ao modelador ou usuário modifica-lo segundo a sua necessidade a situação estudada. Isso se pode conseguir no transcurso da simulação, o que permite maior flexibilidade, conseguindo-se utilizar como uma ferramenta para auxiliar os gestores (pessoas responsáveis pelas formulações de políticas e tomadas de decisões) quanto às diversas alternativas para a gestão da drenagem urbana na bacia.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. MONITORAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

O monitoramento dos resíduos sólidos veiculados no sistema de drenagem urbana da bacia do campus da UFSC no Rio do meio foi realizado entre 24 de abril e 24 novembro de 2015. Na figura 15 pode ser visualizada a distribuição dos eventos de precipitação pluviométrica no período monitorado. Os dados foram obtidos da estação pluviográfica Florianópolis operada pela EPAGRI/CIRAM.

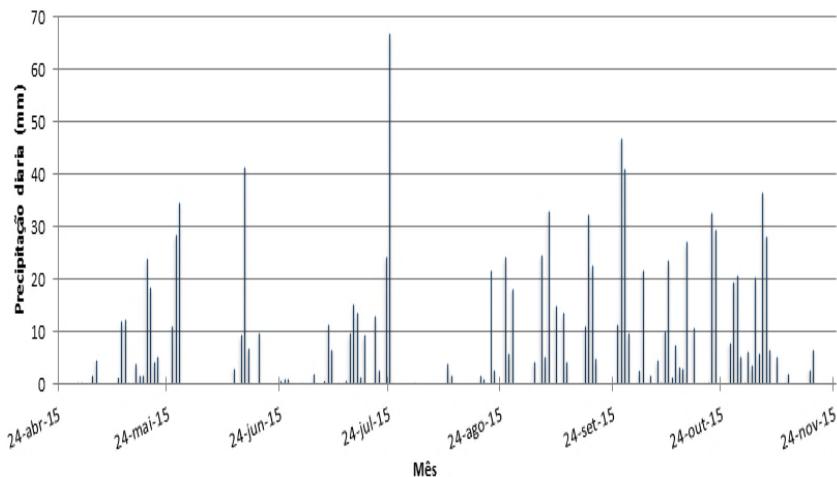


Figura 15 Precipitação diária no período monitorado

No período de monitoramento foi realizada a coleta e classificação dos resíduos sólidos em 38 eventos de precipitação com um total de precipitação de 1.139,3mm. Os resultados detalhados da qualificação e quantificação dos resíduos sólidos coletados apresentam-se disponíveis no Apêndice A.

Na Tabela 15 é mostrada a classificação e a variação percentual dos resíduos coletados no período de estudo. O valor percentual médio obtido para a categoria de matéria orgânica foi de 63,3% com maior presença, o material classificado como restos de vegetação obteve um percentual de 47,6% do total do material retido, a categoria de matéria inorgânica apresentou um percentual de 36,7%, onde o plástico teve maior presença com o 10,3% seguido do material

com classificação de outros com um percentual de 9,6 do total da matéria coletada.

Tabela 15 Valores percentuais dos resíduos sólidos coletados

CLASSE INORGÂNICA	TOTAL kg	% unidade	% Total
Plástico	163,54	10,3	
Metais	42,36	2,7	
Vidro	43,54	2,7	
Tecidos e isopor	75,13	4,7	
Papéis	58,08	3,7	
Pneus e borrachas	32,22	2,0	36,7
Perigosos	13,11	0,8	
Ambulatoriais			
Animais	3,74	0,2	
Outros	152,44	9,6	
CLASSE ORGÂNICA	TOTAL kg	%	%
Restos de alimentos	22,5	1,4	
Restos de Vegetação	757,74	47,6	63,3
Madeira processada	226,25	14,2	
Total	1591	100	

Na pesquisa de coleta de resíduos sólidos realizada por Brites *et al.* (2007) na bacia hidrográfica Cancela, na cidade de Santa Maria – RS, foram encontrados resultados semelhantes, sendo que o material mais abundante verificado foi a matéria orgânica, com 80% devido à cobertura vegetal existente das margens do corpo d’água. No entanto o estudo realizado por Salles *et al.* (2010) na bacia do arroio Esperança (Bacia Escola), na mesma cidade, mostrou resultados inexpressivamente menores, com 73% de material orgânico coletado, dos quais 67% eram de classificação marrom B.

Na figura 16 é possível observar que o maior percentual de resíduos retidos na rede foi de classe orgânica, tais como vegetação (Marrom B), esse valor elevado é justificado pela presença de uma quantidade massiva de vegetação densa em torno das margens do corpo d’água, sendo constituídos de folhas, raízes, galhos e até mesmo árvores

inteiras carregadas ao longo do rio. Seguido da madeira processada (Preto A), que configurou o segundo maior percentual do material retido, principalmente devido à acentuada ocupação da região do entorno ao rio.

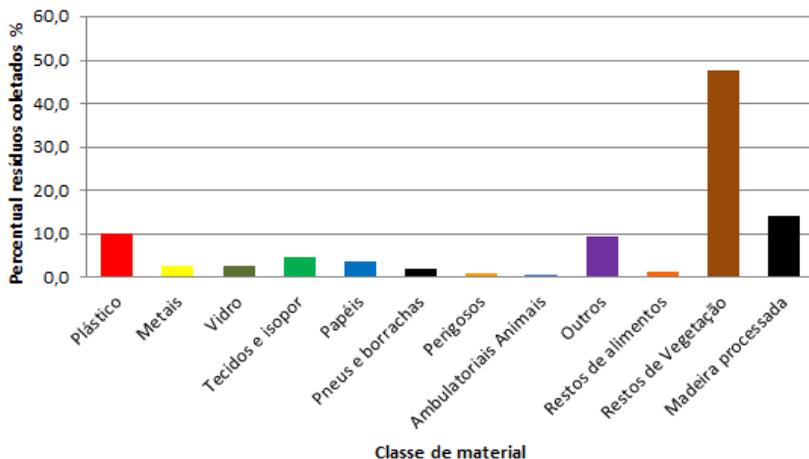


Figura 16 Variação Percentual dos resíduos coletados conforme classificação em padrão de cores

Os resíduos de Classe Inorgânica, tais como plástico (Vermelho) foi o resíduo com maior presença, sendo justificadas pelos principais constituintes, as garrafas pet, por ser altamente utilizadas pela população, no consumo de água mineral e refrigerante. Seguido dos resíduos classificados como outros, os quais sua presença foi devida a inúmeros materiais de diferente composição e de uso habitacional, sendo na sua maioria materiais como calçados, velas e brinquedos. O material que apresentou quantidade significativamente alta, considerando seu baixo peso e grande volume, foi o isopor, seguido dos tecidos encontrados (Verde B) devido a que este resíduo está relacionado, provavelmente, a elevada aquisição de eletrodomésticos pela população em torno do arroio. Esses produtos são vendidos em caixa de papelão e o isopor é utilizado para a proteção mecânica dos equipamentos.

A quantidade de metais (Amarelo) e vidros (Verde A) encontrada foi composta por latas, principalmente de refrigerante e cerveja, não foram encontrados em grandes quantidades devido ao seu alto valor associado à reciclagem. Foi encontrado um valor significativo

entre os materiais Inorgânicos pertencentes a papéis (Azul), possivelmente por não serem dissolvidos em sua totalidade no momento de entrarem em contato com a água e se misturarem com o material orgânico ali existente.

No resíduo de classificação laranja (resíduos perigosos) foi encontrado material hospitalar como seringas e material de uso cirúrgico, apresentando grande risco na população em possíveis eventos de inundação. Devido a que existe na zona o Hospital Universitário da UFSC, além de resíduos perfuro cortante, com capacidade de romper um equipamento de proteção individual (EPI), como por exemplo, luvas de borracha semelhantes as que foram usadas para a realização das coletas.

Cumprе ressaltar que em consequência do perfil de cobertura vegetal existente às margens da drenagem que abrange o rio do Meio, uma fração dos resíduos, principalmente tecidos e sacolas plásticas, mantinham-se retidas na vegetação ao longo do percurso, não atingindo a rede de retenção.

Após a caracterização dos resíduos sólidos coletados, foi calculado o percentual do total pesado. Para a descrição dos dados foram realizadas medidas da estatística descritiva como média, mediana e desvio padrão (Tabela 16).

Como pode ser visto a quantidade de massa média dos materiais nas análises estatísticas (Figura 17) é evidente que os dados coletados pelos resíduos em cada evento de precipitação os resíduos de classificação Marrom B pertencentes aos “Restos de Vegetação” foram mais dispersos e menos uniformes, justificado pela enorme quantidade de material vegetal que foram veiculados pela drenagem e que foram retidos da rede, sendo com a maior presença em relação aos demais resíduos.

O uso do erro padrão da média ajudou a determinar a precisão com a qual a média da amostra estima a média da população. Valores menores do erro padrão da média indicaram estimativas mais precisas da média da população. Normalmente, um desvio padrão maior resulta em um erro padrão da média maior e uma estimativa menos precisa. Um tamanho amostral maior resulta em um erro padrão da média menor e uma estimativa mais precisa.

Tabela 16 Massa Média, Mediana e Desvio Padrão dos resíduos coletados

MATERIAL	Massa Média kg	Mediana kg	Desvio Padrão kg	Erro padrão	Intervalo de Confiança	
Plástico	4,30	2,92	3,65	0,592	3,10	5,50
Metais	1,11	0,795	1,07	0,174	0,76	1,47
Vidro	1,15	0,935	1,05	0,170	0,80	1,49
Tecidos e isopor	1,98	1,345	1,82	0,295	1,38	2,58
Papéis	1,53	0,82	2,15	0,348	0,82	2,24
Pneus e borrachas	0,85	0,455	1,58	0,257	0,33	1,37
Perigosos	0,35	0,21	0,40	0,066	0,21	0,48
Ambulatoriais	0,10	0	0,26	0,041	0,01	0,18
Animais	0,10	0	0,26	0,041	0,01	0,18
Outros	4,01	2,885	3,64	0,590	2,81	5,21
Restos de alimentos	0,59	0,31	0,74	0,120	0,35	0,84
Restos de Vegetação	19,94	11,365	22,38	3,630	12,57	27,31
Madeira processada	5,95	3,805	6,12	0,992	3,94	7,97

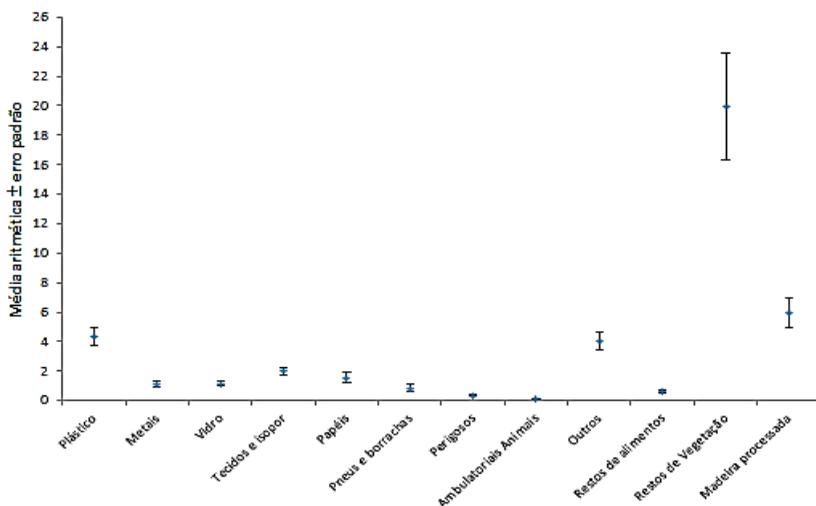


Figura 17 Uniformidade média aritmética (x) \pm erro padrão (ep)

Com o anterior e segundo a figura 18, o erro padrão do material de restos de vegetação mostrou-se elevado em relação aos demais materiais coletados, isso por conta de ter uma distribuição pouco uniforme nos valores das coletas do material, deixando ver assim que os dados de vegetação são pouco precisos, tendo em conta que o material de vegetação é maior no momento no escoamento superficial e não apresenta uma uniformidade visível, além da estrutura de retenção não conseguir reter todo o material carreado pela drenagem evidenciando assim uma considerável quantidade de material não analisada.

Com isso o análises estatísticas para o intervalo de confiança em cada tipo de material é explicado na tabela 16, assim que adotados os valores de $n=38$ eventos, $\sigma= 38,7\text{kg}$, $\bar{x}= 41,9\text{kg}$, $\alpha= 0,05$, $t= 2,030$ são substituídos na equação 13, obtemos:

$$41,9 - 2,030 \frac{38,7}{\sqrt{38}} < \mu > 41,9 + 2,030 \frac{38,7}{\sqrt{38}}$$

$$29,11 < \mu > 54,61$$

Com o valor obtido do total do material retido com um 95% de certeza a média dos resíduos do material coletado nos eventos de precipitação encontram-se entre os intervalos $[29,11 < IC < 54,61]$. O comportamento de cada material retido em função dos 38 eventos de precipitação pode ser vistos no apêndice D do presente trabalho.

Com isso podemos concluir que a geração média de resíduos do total de resíduos coletados nos eventos apresentados, o valor dos intervalos é muito amplo. Assim quanto maior o tamanho das amostras os valores finais do IC ficam mais estreitos, mais próximos à média do total dos resíduos tendo maior precisão nos dados coletados, embora, com um valor menor do tamanho das amostras os valores finais do IC ficariam muito amplos, com aconteceu no presente estudo. Assim é viável recomendar e se faz necessário uma serie de dados muito maior com o fim de obter um IC mais próximo dos intervalos gerados pela equação utilizada e assim obter uma maior certeza dos dados analisados.

Na tabela 17 têm-se os dados de precipitação e RSU totais quantificados em cada um dos eventos de precipitação monitorados.

Tabela 17 Total de RSU quantificados por evento de precipitação.

N. evento	Data de evento	*Precipitação (mm)	Total resíduos (kg)	%
1	29/04/15 a 30/04/15	0,8	3,02	0,2
2	03/05/15 a 04/05/15	6,4	6,05	0,4
3	10/05/15 a 13/05/15	25,7	32,92	2,1
4	14/05/15 a 18/05/15	31,2	52,15	3,3
5	19/05/15 a 21/05/15	28	46,8	2,9
6	24/05/15 a 25/05/15	11,5	19,3	1,2
7	26/05/15 a 27/05/15	63	112,11	7,0
8	11/06/15	3	5,19	0,3
9	13/06/15 a 15/06/15	57,6	109,66	6,9
10	18/06/15	9,9	18,06	1,1
11	24/06/15 a 27/06/15	3,1	12,08	0,8
12	30/06/15	0,1	0,98	0,1
13	03/07/15	1,9	2,38	0,1
14	06/07/15 a 8/07/15	18,6	31,77	2,0
15	10/07/15 a 13/07/15	11,1	19,36	1,2
16	14/07/15 a 17/07/15	39,5	52,79	3,3
17	20/07/15 a 21/07/15	15,74	33,38	2,1
18	23/07/15 a 25/07/15	91,43	18,38	1,2
19	31/07/15	0,2	3,05	0,2
20	09/08/15 a 10/08/15	5,59	9,28	0,6
21	18/08/15 a 19/08/15	2,53	7,84	0,5
22	21/08/15 a 22/08/15	24,35	50,3	3,2
23	25/08/15 a 26/08/15	48,23	93,43	5,9
24	01/09/15 a 03/09/15	4,81	9,53	0,6
25	04/09/15 a 06/09/15	62,71	88,7	5,6
26	08/09/15	15,0	23,37	1,5
27	10/09/15 a 11/09/15	17,8	16,03	1,0
28	16/09/15 a 19/09/15	70,6	89,21	5,6
29	24/09/15 a 28/09/15	109,2	87,24	5,5
30	30/09/15 a 04/10/15	26,7	36,71	2,3
31	06/10/15 a 14/10/15	80,93	117,92	7,4
32	16/10/15	10,7	16,49	1,0
33	19/10/15 a 22/10/15	63,0	66,01	4,1
34	26/10/15 a 30/10/15	54,0	81,68	5,1

35	31/10/15 a 03/11/15	36,0	50,38	3,2
36	04/11/15 a 06/11/15	71,4	139,22	8,8
37	08/11/15 a 11/11/15	7,6	10,78	0,7
38	17/11/15 a 19/11/15	9,4	17,1	1,1
TOTAL		1139,28	1590,65	100

*Fonte: Estação Florianópolis/SC (Itacorubi) Epagri e Inmet.

Durante o período em que houve ocorrência de precipitações pluviométricas intensas, a acumulação de resíduos foi relativamente mais elevada, com variação em termos de quantidade. O valor máximo acumulado de massa de resíduos foi de 139,22kg para precipitação pluviométrica registrada de 71,4mm e valor mínimo de 0,98kg para precipitação pluviométrica de 0,1mm. Entretanto, é necessário ressaltar que os valores de precipitação de 91,43mm e 109,2mm não apresentaram os valores máximos de acumulação de resíduos por ter ocorrido o transbordamento dos resíduos à jusante da rede de coleta, resultando assim uma perda substancialmente elevada de dados a serem coletados.

A figura 18 apresenta os dados do total de resíduos coletados em função da precipitação pluviométrica ocorrida adotando a equação 14. A quantidade total de resíduos sólidos apresentou tendência crescente com o aumento do total precipitado, conforme já constatado em outros trabalhos como em Brites *et al.* (2007) e em Salles *et al.* (2011). Entretanto, nos eventos 18 e 29, que apresentaram os maiores valores de total precipitado (91,43 e 109,2 mm, respectivamente), como se pode observar na Tabela 17, a quantidade de resíduos sólidos transportados foi proporcionalmente menor, por tanto esses dados dos eventos 18 e 29 não foram considerados na elaboração da curva de correlação. Como a retenção e posterior coleta dos resíduos sólidos na rede instalada foi comprometida devido ao grande volume de água escoada e de resíduos sólidos carreados pela drenagem que transbordaram da estrutura de retenção, estes eventos não foram considerados para a análise de regressão.

Para uma melhor análise seriam necessários mais eventos com características semelhantes, possibilitando assim uma correlação múltipla entre os parâmetros, pois o transporte de resíduos está relacionado a mais de um parâmetro, como intensidade máxima de precipitação, volume escoado e pela disponibilidade de resíduos sólidos sobre a superfície da bacia (Brites *et al.*, 2007).

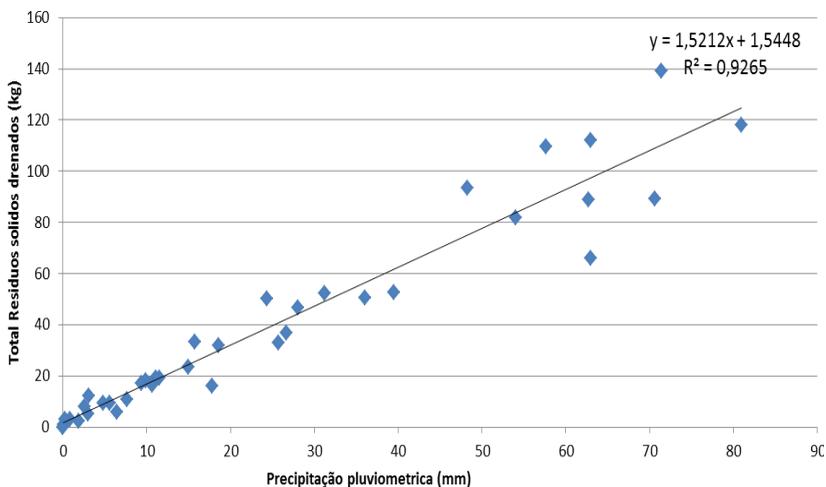


Figura 18 Correlação entre massa de RSU drenados e a precipitação pluviométrica durante os eventos

5.2. MODELAGEM DA DINÂMICA DE SISTEMAS

Através do monitoramento realizado ao Rio do Meio afluente da bacia hidrográfica do Itacorubi, foram coletados dados da precipitação pluviométrica no ano 2015 num período de 08 meses com um total de 38 eventos de precipitação, da mesma forma foram coletados e classificados os resíduos sólidos urbanos gerados e escoados pela drenagem urbana depois de cada evento pluviométrico, somado a isso se obtém os dados dos sedimentos produzidos pela perda do solo, com o fim de ter a relação desses parâmetros e assim conhecer a quantidade de resíduos sólidos totais que atinge a bacia hidrográfica. Mencionados parâmetros foram analisados mediante diferentes sectores de modelagem no Software de Stella, adiante são avaliados e analisados cada um destes sectores lembrando que a simulação é suportada para a previsão do comportamento das variáveis para um horizonte de tempo de 35 anos valor que pode ser ajustado em qualquer etapa do estudo e pelo usuário.

As formulações matemáticas inseridas aos diferentes setores do modelo dinâmico de sistemas desenvolvido no presente estudo podem

ser vistos no Apêndice B do presente trabalho, a fim de fazer um melhor seguimento e avaliação ao modelo. Assim como os valores das gráficas após a simulação detalhando para cada ano analisado, apresentados no Apêndice C.

Deve-se ter em conta, que na simulação os dados de precipitação para a obtenção dos *STotGPS* no *setor de Poluição*, são constantes para o horizonte tempo analisado, além das quantidades geradas para as variáveis *Resíduos coletados drenagem* no *setor de Sólidos Totais Gerados*, com isso o valor gerado final em cada um dos anteriores converte-se num estimativo refletindo comportamentos futuros com base em cenários atuais.

5.2.1. DS setor geração dos resíduos sólidos

A Figura 19 apresenta-se o modelo de geração de resíduos sólidos conformado pelas variáveis de nível *população* sendo a quantidade inicial de pessoas nos bairros que afetam a drenagem urbana no setor de coleta dos resíduos, e assim, correlacionando-se com variáveis exógenas como taxa de nascimentos, taxa de mortes, o saldo migratório, e assim analisando as variáveis exógenas correspondentes na obtenção do valor da geração de resíduos sólidos tomando em conta a variação capita dos resíduos do município de Florianópolis.

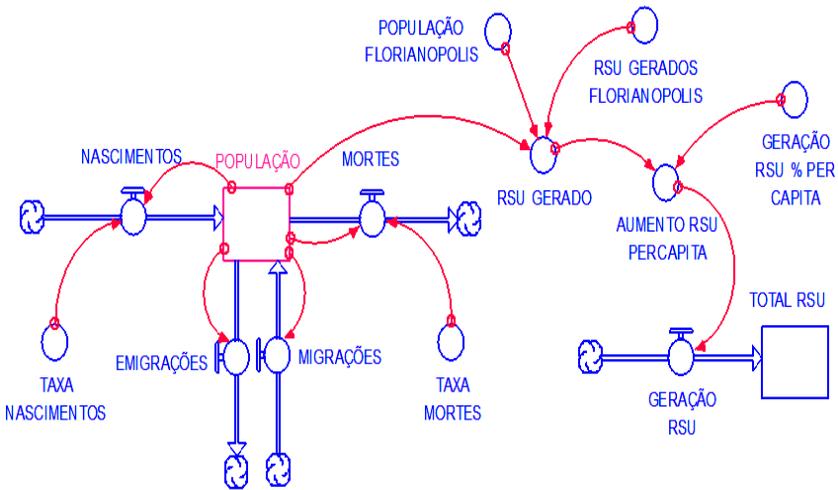


Figura 19 DS setor geração dos resíduos sólidos

Assim neste setor o aumento populacional tem como valor inicial para o ano 2015 de 20.001 pessoas, gerando como resultado para o ano 2050 um valor de 31.870 pessoas, sendo validado e aceitado tomando como referência os valores estimados por Campanário, (2007), tendo em consideração que o aumento proporcional da população incide no aumento dos resíduos sólidos urbanos com um valor inicial para o ano 2015 de 7.396 ton ano⁻¹ (valor adotado pela quantidade de resíduos gerados pelos bairros que tem incidência com resíduos na drenagem urbana estudada) obtendo um valor final para o ano 2050 de 12.024 ton ano⁻¹ (Figura 20), os valores são apresentados no apêndice C.

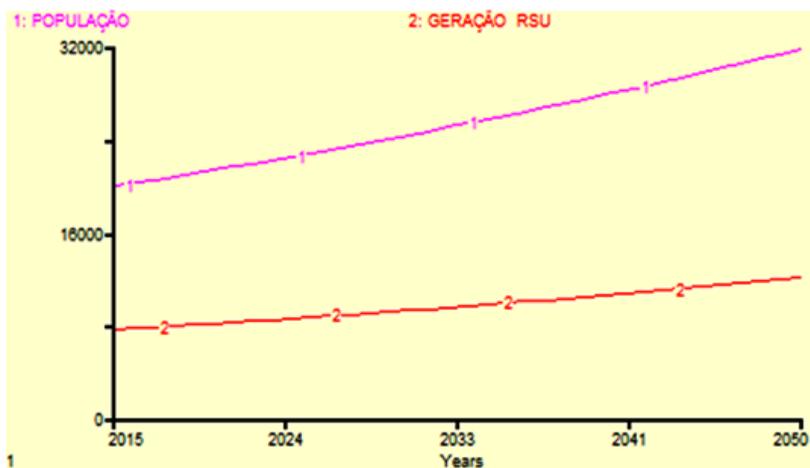


Figura 20 Resultados gerados pelo Software Stella no setor geração de resíduos sólidos

5.2.2. DS setor estimativo poluente

Os elementos poluentes dentro do contorno tracejado correspondem justamente à infraestrutura existente. Em destaque, o setor foi dividido em duas partes, a primeira parte foi analisada a *Poluição Pontual*, primeiramente foi avaliada segundo os parâmetros de análises de poluentes os quais podemos encontrar segundo os dados censitários estabelecidos no item 4.3 e as equações 6 até a equação 11 segundo o item 3.5.5, e a segunda a *Poluição Difusa* a qual foi avaliada pelo método Simples de Schueler aplicando a equação 12 segundo o item 3.5.6 com o fim de estimar a quantidade de poluição que esta sendo

gerada e veiculada pela drenagem urbana atingindo a bacia hidrográfica, por isto para o calculo da carga de poluição da área estudada, foi determinado inicialmente o valor do STotGPS (Sedimentos Totais Gerados pela Perda do Solo) o qual alimenta a variável de concentração do poluente na poluição difusa, dados gerados pelo setor da RUSLE amostrado mas adiante. E assim conseguir ter uma visão mais ampla do problema ambiental apresentado.

A Figura 21 apresenta as relações causais entre os diversos fatores que influenciam no processo de geração de poluentes na Bacia.

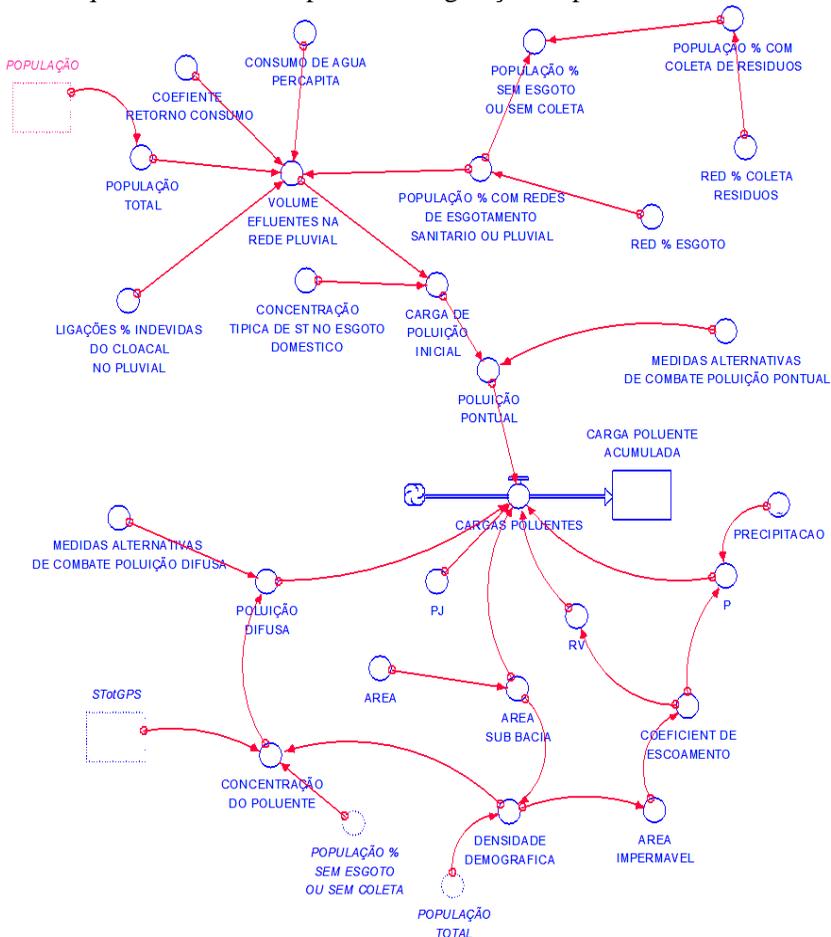


Figura 21 DS do setor de poluição

Conseguiu-se estimar pela equação 10 o *Volume de Efluentes* lançados à rede de drenagem urbana, tendo como resultado para o primeiro ano um volume de 216.011 litros e no último ano simulado uma quantidade estimada de 344.197 litros, após a geração do Volume de Efluentes e segundo a Equação 11 e gerada a *Carga de Poluição Inicial* o qual variou entre 432mg/l no primeiro ano de estudo a 688mg/l para o ano 2050 (figura 23).

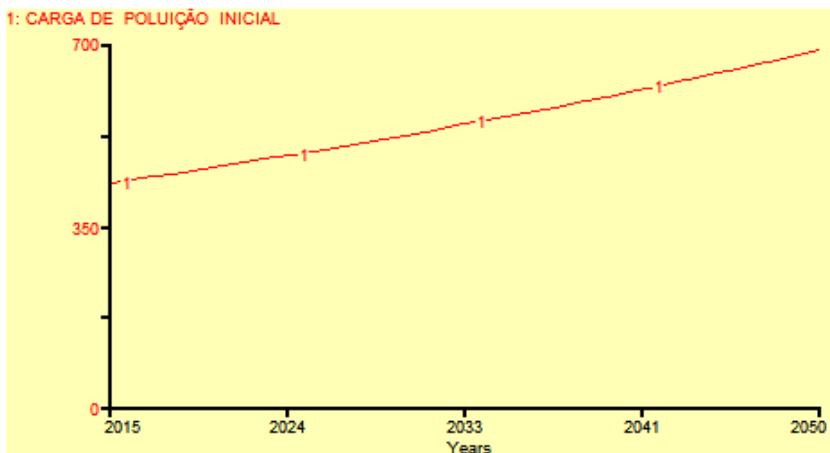


Figura 22 Resultados gerados pelo Software Stella carga de poluição inicial

De maneira geral, a concentração dos Sólidos Totais no local de estudo não supera no ano inicial aos limites estabelecidos, mas para o último ano os resultados superaram o limite máximo de 500mg/l estipulado na Resolução CONAMA no 357 (BRASIL, 2005) para rios classe 2.

Ditos valores foram semelhantes aos resultados obtidos por Fuzinato (2008) com uma carga de Sólidos Totais mínima de 535mg/l no Rio Sertão e 545mg/l no Rio Córrego Grande ambos afluentes da Bacia do Rio Itacorubi no ano 2008. Com isso conseguiu-se evidenciar uma leve melhoria na diminuição das descargas provenientes de construções, agricultura, atividades populacionais.

Com isso, nesse setor a *Poluição Pontual* conseguiu-se determinar segundo a Figura 23, para o primeiro ano de estudo apresenta um valor de 0,08ton ano⁻¹ chegando a valores superiores de 0,12tonano⁻¹

no período simulado 2015-2050. Tendo-se adotado o percentual de 1-0,3 como medidas alternativas de combate à poluição pontual.

A *poluição difusa* apresentou um aumento considerável nos primeiros anos, onde a carga poluente é mínima, sendo considerado pela estabilidade populacional e os fatores antrópicos da região, para o primeiro ano 2015 obteve-se uma quantidade de 29 ton km² ano⁻¹ e valores acumulados para o período simulado 2015-2050 estudado a carga poluente chegou a valores de 82993 ton km², isto se devendo ao reflexo do comportamento da população.

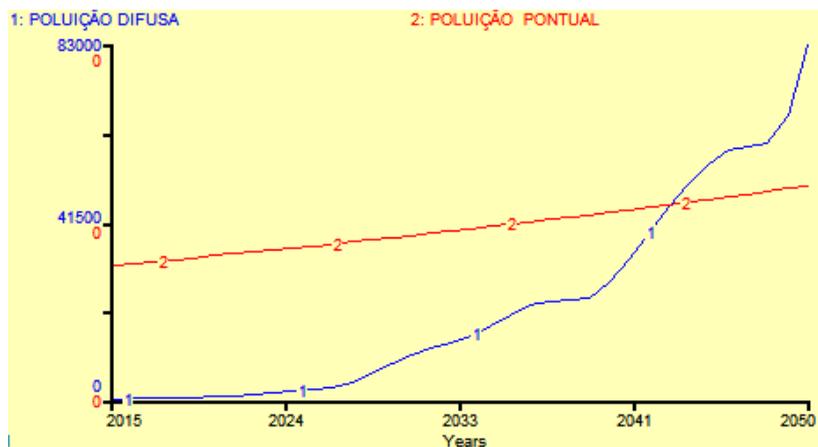


Figura 23 Resultados gerados pelo Software Stella no setor de poluição difusa (1) e pontual (2)

A Figura 24, os resultados das análises geradas pelo modelo desenvolvido, com a aplicação do método Simples de Schueler segundo a equação 12, estimam-se as “*cargas poluentes*” no qual apresenta inicialmente uma descarga de 138 m³ km² ano⁻¹ para o ano 2015 e 464.231m³ km² para o período simulado de 2015-2050, com isso, pode-se entender que a uma maior precipitação indica maior geração na poluição difusa, por outro, o fato de ter grandes concentrações maiores de poluição pontual, sendo estas ao aumento do volume de efluentes e descarga pontual lançada. Como era de esperar-se, houve um aumento na concentração dos poluentes devido ao aumento populacional. Este aumento refletiu-se num aumento no escoamento superficial e na geração de efluentes, entre eles a maior carga gerada pela perda do solo na área estudada.

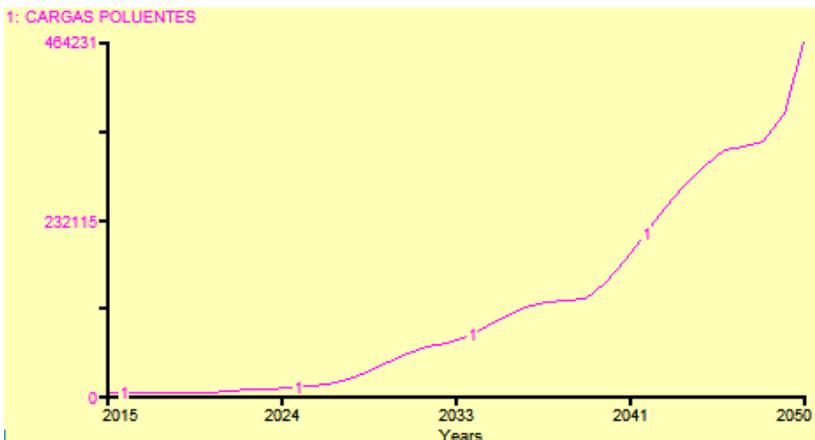


Figura 24 Resultados gerados pelo Software Stella no setor de poluição da carga poluente.

De acordo com Michaud (1991), o uso e ocupação do solo são, provavelmente, os fatores que exercem maior influência em mudanças na concentração de Sólidos Totais. Elevadas concentrações de Sólidos Totais são indicativos da presença de atividades agrícolas, lançamento de efluentes industriais e domésticos, escoamento superficial e erosão do solo a montante do local de coleta da amostra de água superficial.

5.2.3. DS setor estimativa da perda do solo

Esse setor permitiu simular a perda do solo na área de contribuição da bacia (Figura 25). Para estimar a perda de solo foi utilizada a Equação Universal de Perda de Solo Revisada - RUSLE (Equação 1 do item 3.4.1). A obtenção dos fatores da RUSLE (LS, C e P) foi feita utilizando o Sistema de Informação Geográfica - SIG (Figuras 28 a 31), que alimentou algumas variáveis no modelo DS por médio de tabelas. A seguir serão explicadas as informações adotadas por cada fator.

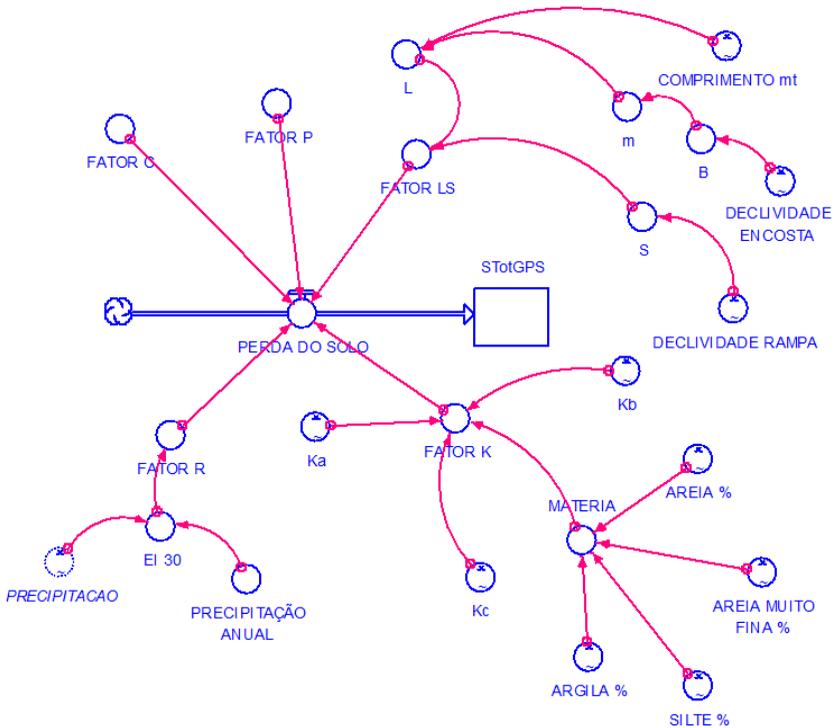


Figura 25 DS do setor estimativa de erosão de solo pela RUSLE

- **Cálculo do fator R**

O fator erosividade da chuva (R) foi calculado usando a série de dados de precipitação da cidade de Florianópolis monitorada pela Epagri e da Inmet (Código 02748006). O período de dados utilizados foi de 1985 a 2015 (Figura 26). Com base nos dados foi verificado que a média anual de precipitações é de 1622 mm (Equações 2 e 3). O fator R obtido foi de $6637 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

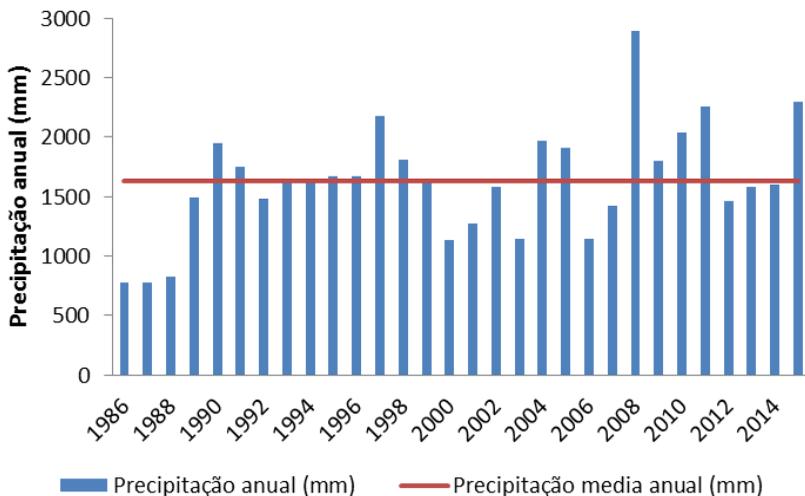


Figura 26 Precipitação anual e média anual entre 1986 e 2015

Os valores apresentados na Tabela 18 amostra a média mensal no período chuvoso no tempo de estudo analisado.

Tabela 18 EI₃₀mensal do período 1986 a 2015

Mês	Precipitação média mensal (mm)	EI ₃₀ mensal MJ mm ha ⁻¹ mês ⁻¹
Janeiro	223,2	1237,9
Fevereiro	175,7	824,0
Março	163,3	727,8
Abril	113,0	388,9
Mai	111,3	379,0
Junho	82,0	225,5
Julho	96,5	297,3
Agosto	89,1	259,6
Setembro	145,9	600,6
Outubro	142,1	574,7
Novembro	134,6	524,0
Dezembro	145,5	597,9
R	P=1622	6637

Com isso a erosividade média mensal no período analisado, é possível observar que nos meses de junho, julho e agosto apresentaram pouca precipitação nesses meses, no entanto, o aumento na erosividade nesses meses ocorre de forma muito mais acentuada do que o aumento da precipitação, o que pode estar associado à maior concentração de chuvas nestes meses. Em janeiro e fevereiro, a precipitação mensal supera o valor médio, tendo as maiores presenças das precipitações. Os demais meses as precipitações foram semelhantes.

A análise de correlação entre a erosividade e a precipitação, apresentada na Figura 28, mostra que há um comportamento segundo a distribuição espacial da erosividade no qual apresenta dependência com o total precipitado, sendo encontrado um coeficiente de correlação de 98,72% entre esses valores.

Com esse alto coeficiente de correlação confirma-se que a equação 14 proposta por Lombardi Neto (1977) é válida para obtenção da erosividade pelo método pluviométrico da estação pluviométrica.

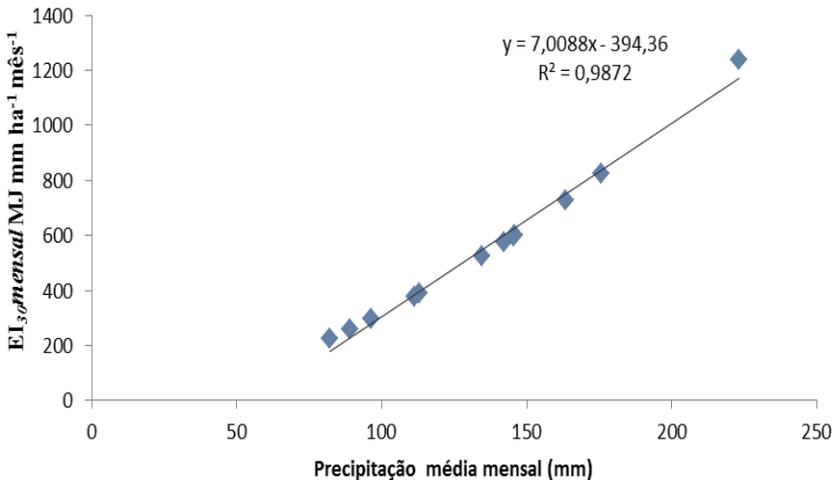


Figura 27 Correlação entre erosividade mensal (EI30) e precipitação média mensal, do município de Florianópolis no tempo analisado.

- **Cálculo do fator K**

O fator de erodibilidade do solo (K), foi calculado pela Equação 4, foram selecionados 12 pontos de coleta de amostras de características

físico e químicos do solo, bem como os parâmetros utilizados na determinação do mesmo (Tabela 19), valores foram inseridos no modelo desenvolvido em cada uma das variáveis exógenas analisadas.

Tabela 19 Parâmetros físicos e químicos para cálculo da erodibilidade.

Textura	Argila %	Areia muito fina %	Areia %	Silte %	ka	kb	kc	Fator K [ton MJ ⁻¹ mm ⁻¹]
Ca24	31	15	15	39	1	1	1	0,0361
Ca17	31	15	15	39	1	1	1	0,0361
Ca24	31	15	15	39	1	1	1	0,0361
HGPa7	50	14	6	30	3,5	2	5	0,0238
PVa19	3	7	48	42	2,5	3	3	0,0921
HOa2	19	11	26	44	10	2	5	0,0188
Ca24	31	15	15	39	1	1	1	0,0361
URBANO	0	0	0	0	0	0	0	0
SM	9	54	19	18	6	3	1	0,0457
HGPa7	50	14	6	30	3,5	2	5	0,0238
URBANO	0	0	0	0	0	0	0	0
SM	9	54	19	18	6	3	1	0,0457

Segundo a tabela 19 pode-se observar a predominância do solo de tipo cambissolo, (Ca24, Ca17, PVa19). O maior valor da erodibilidade corresponde ao solo de tipo cambissolo, classe PVa19, com valores de 0,0921 ton MJ⁻¹ mm⁻¹ e o menor valor de erodibilidade foi identificado nos solos orgânicos, que correspondem à classe HOa2, com um valor de 0,0188 ton MJ⁻¹ mm⁻¹ sendo que nos solos urbanos (impermeabilizados), o valor foi considerado nulo.

- **Cálculo do fator LS**

O fator topográfico (LS) foi calculado como o produto dos fatores de comprimento de rampa (L) e declividade (S) da encosta (Equação 5). Foi gerado um Modelo Digital de Elevação (MDE), a partir da interpolação das curvas de nível referentes à área de estudo, com uso do módulo *Hydrology – Map Algebra – Surface* do software ArcGIS. O fator L foi estimado com auxílio do mapa de acumulação de

fluxo (*Flow Accumulation*) (Figura 28) O fluxo acumulado é um parâmetro que indica o grau de confluência do escoamento e pode ser associado ao fator *comprimento de rampa* aplicado em duas dimensões.

O fluxo acumulado, também denominado área de captação, apresenta obtenção complexa, manual ou computacional, uma vez que reúne, além de características do comprimento de rampa (conexão com divisores de água a montante), também a curvatura horizontal (confluência e divergência das linhas de fluxo) (VALERIANO, 2008).

De acordo com MENDES & CIRILO (2001), o fluxo acumulado representa a rede hidrográfica, contendo os valores de acúmulo de água em cada “pixel”. Desse modo, cada “pixel” recebe um valor correspondente ao número de “pixels” que contribuem para que a água chegue até ele. A partir da direção de fluxo, o fluxo acumulado é obtido somando-se a área das células (quantidade de células) na direção do fluxo (ou escoamento).

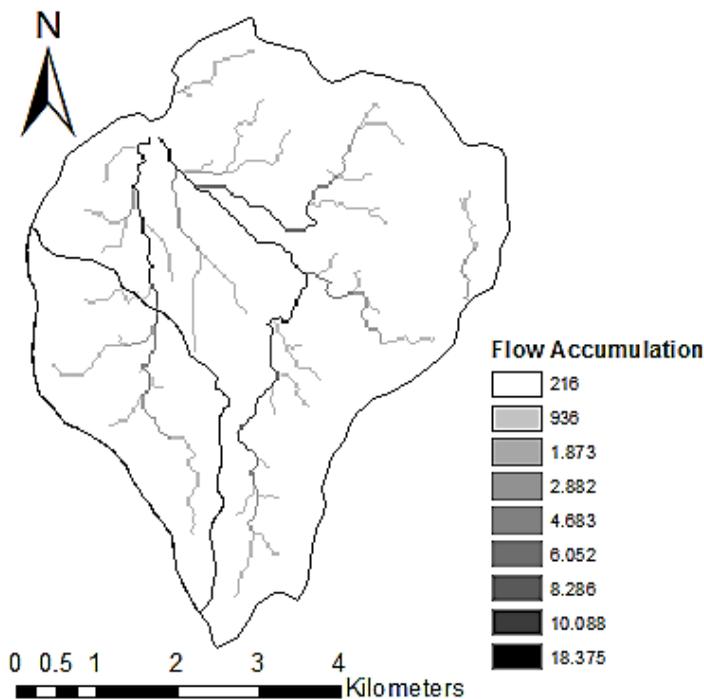


Figura 28 Comprimento de rampa (Flow Accumulation)

O fator S, assim como o fator β , foi obtido segundo o mapa de Declividade (*Slope*) (Figura 29). É possível evidenciar segundo os intervalos definidos pela EMBRAPA a declividade do solo corresponde em grande quantidade à área com características de terreno Plano e encontrando com uma forte predominância as características de terreno Forte-Montanhoso ou Escarpado

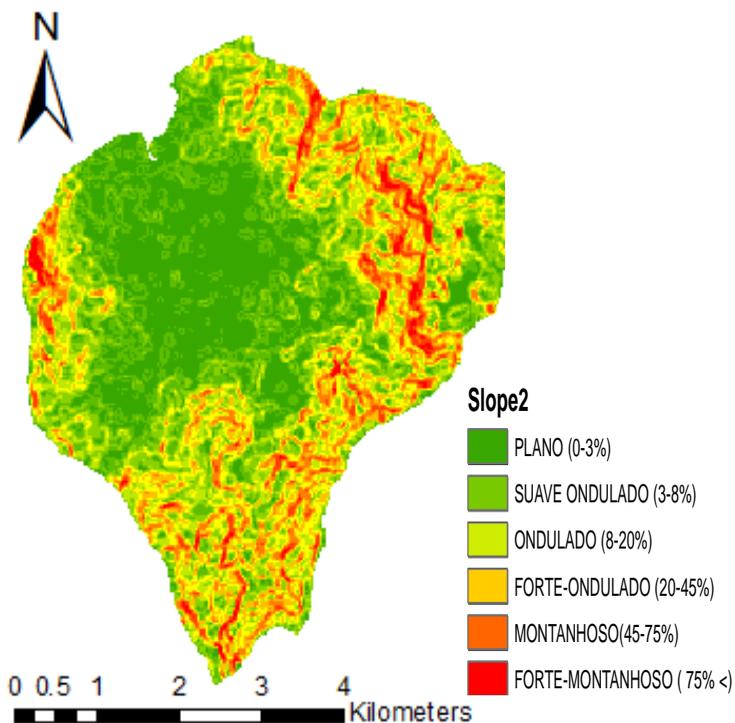


Figura 29 Mapa Declividade média da encosta (*Slope*)

- **Cálculo do fator C**

O fator de uso do solo (C) com auxílio de um mapa de uso e cobertura do solo construído para a área de estudo (Figura 30). O uso de solo predominante na bacia foi classificado como Área Urbana (35%) que, segundo a Tabela 4, corresponde a um valor de C de 0,01. Seguido de Florestas (35%) que, segundo a Tabela 4, corresponde a um valor de

C de 0,005, sendo coerente com as observações realizadas em campo, onde foi constatada a presença de vegetação.

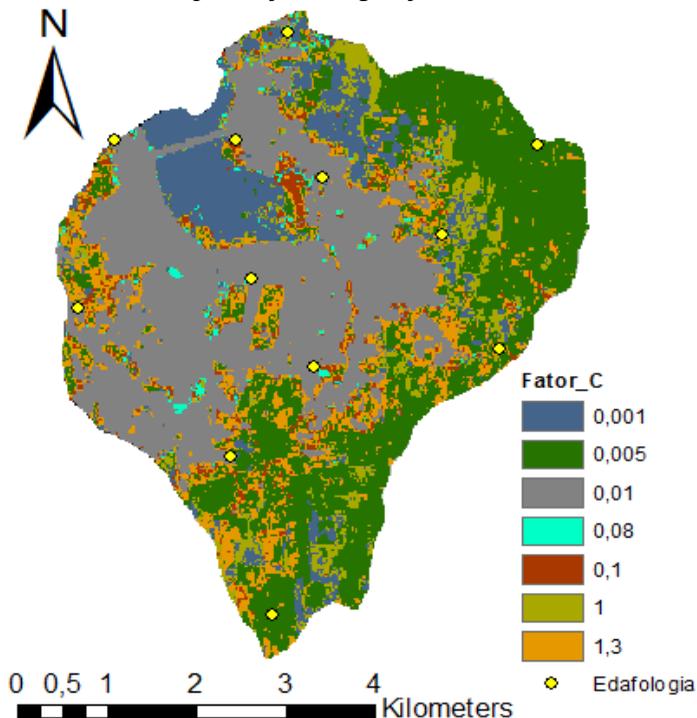


Figura 30 Distribuição do uso e ocupação do solo - Fator C

- **Cálculo do fator P**

Os valores do fator P (Figura 31) foram obtidos utilizando o mapa de uso e ocupação do solo e observações em campo, conforme as definições de Righetto (1998) (Tabela 6). A Tabela 20 apresenta os valores adotados para as diferentes classes de solo na bacia hidrográfica do Itacorubi.

Tabela 20 Valores de P para a bacia do Itacorubi

Classe de Uso da Terra	Valor P
Ca24 (Cambiossolo)	0,45
Ca17 (Cambiossolo)	0,25
HG9a7 (Glei Pouco Humico)	0,16
PVa19 (Cambiossolo)	0,10
HOa2 (Solos Orgânicos)	0,12
Urbano	1,0
SM (Solos indiscriminados)	0,16

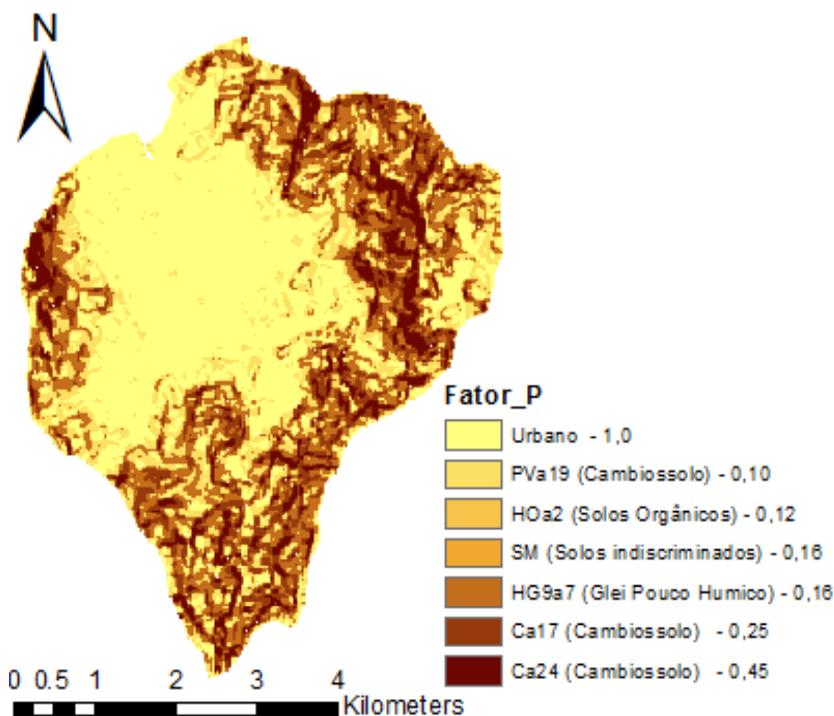


Figura 31 Mapa Fator P

Integrando o valor de R e os mapas dos fatores, LS, C e P, gerados em ambiente SIG, ao modelo de DS é possível estimar a perda de solo (A) e obter o valor da variável sedimentos totais gerados pela

perda do solo (STotGPS). Este **valor total acumulado** é considerado para a análise da concentração de Poluição Difusa (Setor de poluição, item 5.2.2). Foi realizada a simulação em um horizonte de tempo de 35 anos, conforme mostra a Figura 32, onde foi obtido um valor acumulado estimado de sedimentos totais de $4 \text{ ton ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ no primeiro ano da simulação (2015), chegando a valores acumulados 7650 ton ha^{-1} no período simulado de 2015-2050.

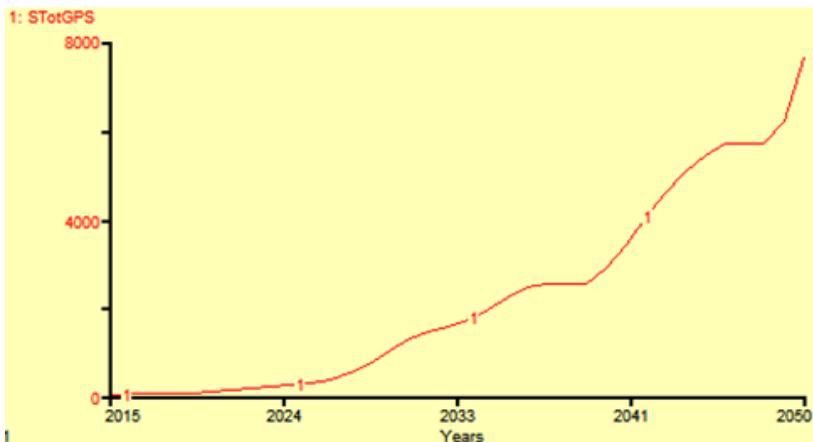


Figura 32 Resultados de Sedimentos Totais Gerados pela Perda do Solo (STotGPS) simulados no Software Stella

5.2.4. DS Caracterização e Quantificação do RSU

No setor de caracterização e quantificação dos resíduos sólidos no modelo da Dinâmica de Sistemas, foram inseridos os dados da quantidade de resíduos sólidos retidos e classificados pela rede de retenção instalada após a coleta na drenagem urbana (Figura 33). Foram analisados duas variáveis endógenas os *Resíduo Inorgânico* e *Orgânico*, com coletas de resíduos durante os 38 eventos de precipitação assim como amostra a Tabela 17 descrita anteriormente.

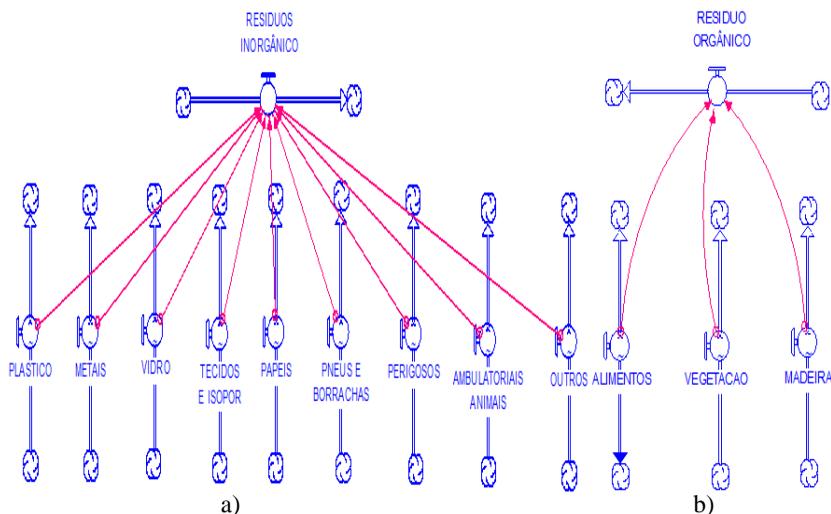


Figura 33 DS do setor de caracterização e quantificação dos resíduos sólidos: a) Resíduos inorgânicos; b) Resíduos orgânicos

Segundo a Figura 34, encontramos que durante os 38 eventos que foram realizadas as coletas, classificação e quantificação de resíduos sólidos, pode-se evidenciar que foi muito maior a quantidade de resíduos de matéria orgânica coletada, com um total de 1006,5 kg de matéria orgânica e 584,16 kg de matéria inorgânica.

Nos eventos 7, 9, 31 e 36 de precipitação dadas as intensidades máximas foram carregadas maior quantidade de resíduos com 112,1 kg, 109,66 kg, 117,9 kg e 139,2 kg respectivamente.

A maior parte dos resíduos retidos foi de matéria orgânica, com presença do 63,3% dos resíduos totais quantificados, devido, principalmente, a quantidade elevada de vegetação densa em torno das margens e que é veiculada pelo corpo d'água, e 36,7% do total de resíduos sólidos coletados pertencentes ao material inorgânico.

Na figura 34 é evidente que a presença do material orgânico nos 38 eventos de precipitação pluviométrica foi maior, além de apresentar a matéria inorgânica um comportamento algo semelhante, mas em menor quantidade, ao longo do tempo dos 38 eventos.

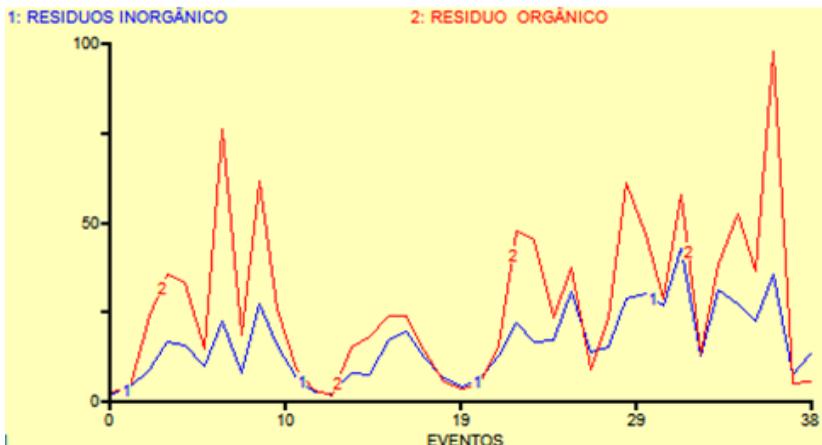


Figura 34 Resultados gerados pelo Software Stella no setor de caracterização e quantificação material inorgânico (1) e orgânico (2)

5.2.5. DS Setor estimativa de resíduos não coletados

Na Figura 35 o setor permite estimar a quantidade de resíduos sólidos que possivelmente são deixados de coletar nos dois bairros analisados e que de alguma forma uma enorme quantidade delas *podem chegar a atingir a drenagem urbana* do Rio do Meio tendo como destino final a Bacia Hidrográfica do Itacorubi, tendo em conta as variáveis estabelecidas anteriormente no *Setor de Geração de Resíduos Sólidos* e o *Setor de Poluição* (ver Figura 20 e 22) onde foram usadas as variáveis exógenas de “*geração de RSU e a %população com coleta de resíduos*” com o fim de estabelecer a quantidade de resíduos gerados e que possivelmente não são coletados pelos órgãos de controle da cidade. Esse setor ainda permitirá a inclusão de variáveis adicionais que permitirão a simulação de estratégias de redução na geração e/ou na otimização na coleta dos resíduos.

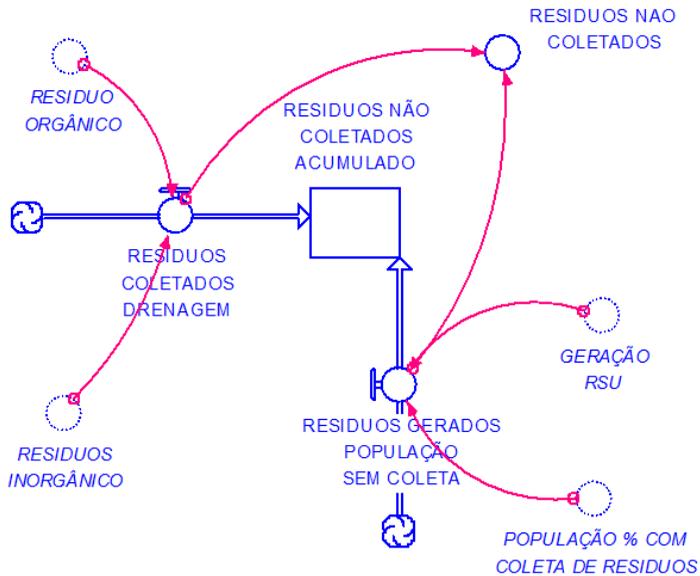


Figura 35 DS do setor estimativo dos resíduos não coletados

Com isso e segundo a Figura 36, é possível ter como resultado o comportamento da quantidade possível dos *resíduos não coletados* nos bairros analisados, durante os 38 eventos de precipitação, assim os resíduos deixados de coletar por diversos motivos são os que possivelmente consigam atingir a drenagem urbana. Tendo em conta que para o ano em curso 2015, a geração de resíduos sólidos estimada para os dos bairros e que atingem a drenagem urbana do afluente do Rio do Meio, chegou à ordem de 240 ton ha^{-1} nos 8 meses de estudo chegando com isso a gerar $375 \text{ ton ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ para o ano 2015, e assim gerando $316 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ de “*resíduos sólidos*” pela população, atingindo de alguma forma a drenagem urbana.

O comportamento das variáveis foram geradas pela diferença entre os valores das variáveis exógenas analisadas “*Resíduos gerados pela população sem coleta e Resíduos coletados na drenagem*”, tendo como resultado um comportamento dos resíduos não coletados. Os valores são apresentados no apêndice C.

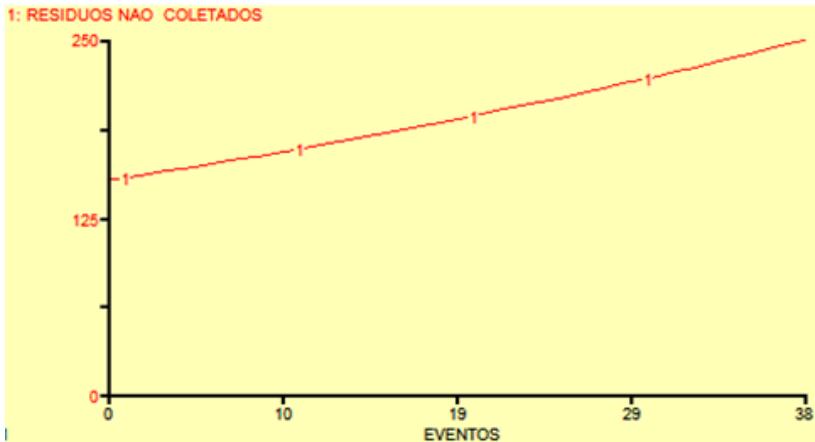


Figura 36 Resultados gerados pelo Software Stella resíduos não coletados

É evidente que além de ter políticas locais acertadas no que concerne ao saneamento coleta e tratamento de resíduos, assim as quantidades de resíduos que ainda são deixados de coletar seguem impactando e contribuindo ao assoreamento dos corpos d'água.

5.2.6. DS setor Sólidos Totais Gerados

Assim o comportamento ao longo dos 35 anos simulados, dos sólidos totais gerados (STG), que possivelmente atingem a drenagem urbana foi estimado pela soma das variáveis “Resíduos Sólidos Coletados na Drenagem” e a “Carga de Poluição Acumulada” conforme as definições de Neves e Tucci (2008) para os Sólidos Totais (Figura 37).

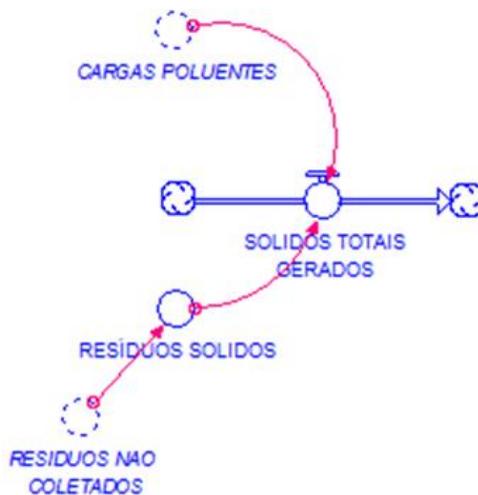


Figura 37 DS setor Sólidos Totais Gerados

Os valores da variável “*Cargas poluentes*” apresenta o comportamento crescente no tempo analisado, como foi dito anteriormente na figura 24, os valores acumulados chegaram a valores iniciais de $138 \text{ m}^3 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$ para o primeiro ano simulado e obtendo valores acumulados de $464.231 \text{ m}^3 \text{ km}^2$ para o período simulado 2015-2050.

Com o anterior tem-se como resultado final das análises das da simulação com a interação de cada um dos setores com o horizonte de tempo de 35 anos, gerando o valor acumulado estimado dos “*Sólidos Totais Gerados*” no afluente do Rio do Meio e atingindo a Bacia Hidrográfica do Itacorubi, apresentado na Figura 38, no qual para o ano 2015 apresento valores de $192 \text{ m}^3 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$, e tendo um comportamento crescente até alcançar o valor acumulado de $464.535 \text{ m}^3 \text{ km}^2$ para o período simulado 2015-2050.

Segundo os valores gerados no setor, é possível disser que a quantidade estimada de Sólidos Totais, recebida pelo curso de água é mínima inicialmente devido a que o rio do Meio pode ser considerado como de pequeno porte e o afluente das descargas poluentes não são tão voluminosos, mas ajuda a tornar as águas impróprias ao alto valor de matéria orgânica, embora este valor representa apenas uma parte do

aporte total, já que parte do sedimento segue sendo transportado pelo rio e pelos demais afluentes da bacia hidrográfica.

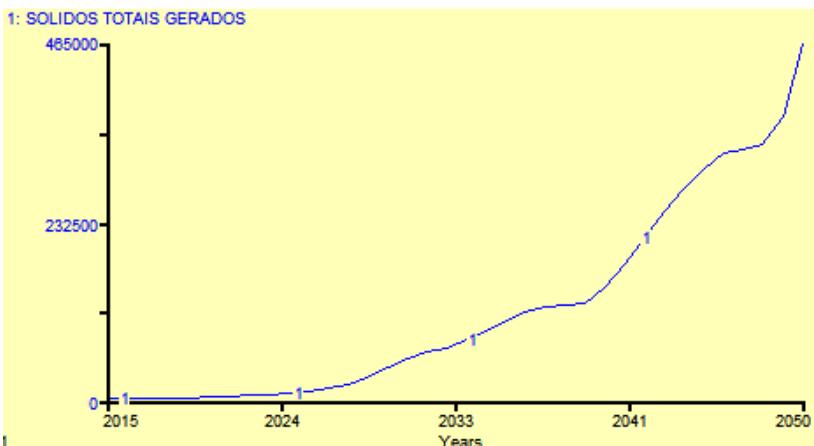


Figura 38 Resultados gerados pelo Software Stella sólidos totais gerados

Evidenciando assim que o aumento dos Sólidos Totais vem influenciado fortemente pela precipitação a geração de resíduos sólidos produzidos pela população e o valor da carga poluente lançado ao afluente.

O visível aumento na quantidade dos Resíduos Sólidos Totais gerados pelo modelo, apresentado desde o ano 2015 até o ano 2050, devesse aquelas variáveis que no modelo desenvolvido permanecem fixas, tais como as medidas alternativas de combate à poluição difusa e pontual, sendo que este porcentagem é visada com forme as atuais medidas de controle que tem o estado, com o fim de mitigar os efeitos e impactos ambientais ocasionados pela poluição dos resíduos sólidos na cidade de Florianópolis, sendo impossível que se possa obter uma porcentagem para os anos posteriores, já que seria muito complexo estabelecer as políticas de saneamento futuras.

5.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.3.1. Resíduos sólidos coletados

Foi realizada uma compilação dos dados estudados por diferentes autores para produzir uma quantificação comparativa entre as bacias estudadas (Tabela 21).

Brites (2005) executou a quantificação de resíduos sólidos drenados em duas bacias diferentes, a Bacia Hidrográfica Cancela possuía 18082 habitantes em 2005 e uma área total de 4,95km², e a Bacia Hidrográfica Alto da Colina Santa Maria - RS possuía 1972 habitantes e uma área total de 3,34km.

Salles (2010) avaliou a Bacia Hidrográfica Escola Urbana Santa Maria - RS. O número de habitantes da *Bacia Hidrográfica Escola Urbana* não foi mencionado no trabalho, fazendo relação somente à população da cidade de Santa Maria, dificultando a realização de uma comparação mais detalhada. No entanto, é afirmado que a bacia Escola Urbana possui 0,57 km².

Gava (2012) quantificou os resíduos sólidos urbanos drenados na Bacia Hidrográfica do Rio de Meio Florianópolis - SC. possui um total de 1530 habitantes num área de drenagem total de 2,85km².

Gonçalves (2013) classificou e quantificou os resíduos drenados na Bacia Hidrográfica da do Arroio Tamandai em Santa Maria – RS. A *Bacia Hidrográfica* possui uma população estimada de 10902 e uma área total de drenagem de 2,67km².

A *Bacia do Itacorubi no rio do Meio*, afluente do rio Itacorubi possui 20001 habitantes pertencentes aos bairros Itacorubi e Pantanal, que percorrem a drenagem urbana e uma área total de drenagem de 13,83km² segundo Galarza (2015) onde foram quantificados e qualificados os resíduos sólidos drenados e veiculados pela drenagem urbana.

Tabela 21 Comparativa dos resíduos coletados entre bacias diferentes bacias hidrográficas

	Cancela Tamandaí, Gonçalves (2013)		Escola Urbana, Salles (2010)		Cancela, Brites (2005)		Alto da Colina, Brites (2005)		Rio do meio, (Gava, 2012)		Itacorubi, (Galarza, 2015)	
Área drenagem (km ²)	2,67		0,57		4,95		3,34		2,85		13,83	
Precipitação (mm)	518,94		290,7		388,29		382,83		32,3		1049,87	
População	10902				18082		1972		1530		20001	
Tempo estudo (mês)	03		04		08		06		02		08	
CLASSE INORGÂNICA	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	k	%	k	%
Plástico	28,3	2,5	305,6	13,8	256,3	11,8	64	24,7	0,679	18,5	163,5	10
Metais	4,1	0,4	12,7	0,6	6,1	0,2	3,4	1	0,17	4,6	42,4	3
Vidro	9,2	0,8	19,3	0,9	16,4	0,4	3,3	1	0,36	9,8	43,5	3
Tecidos e isopor	10,7	0,9	32,1	1,4	18,1	0,6	1,3	0,5		0,0	75,1	5
Papéis	0	0,0	18,1	0,8					0,06	1,6	58,1	4
Pneus e borrachas	2,1	0,2	40,7	1,8						0,0	32,2	2
Perigosos	0,1	0,0	0,5	0						0,0	13,1	1
Ambulatoriais Animais	1	0,1	15	0,7						0,0	3,7	0
Outros	9,3	0,8	140,5	6,3	188,8	7	13,1	3,8	0,83	22,6	152,4	10
Inorgânicos Totais	64,8	5,7	584,5	26,3	485,7	20	85,1	31	2,099	57,1	584	37
CLASSE ORGÂNICA	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
Alimentos	1,2	0,1	0	0						0,0	22,5	1
Vegetação	993,4	86,1	1504,7	67,8					1,58	42,9	757,7	48
Madeira processada	93,8	8,1	131	5,9						0,0	226,3	14
Orgânicos Totais	1088,4	94,3	1635,7	73,7	2288,3	80	216,5	69,1	1,58	42,9	1006	63
TOTAL	1153,2	100	2220,2	100	2774	100	301,6	100	3,679	100	1591	100

A contribuição dos resíduos sólidos em função da sua área e do número de habitantes das bacias hidrográficas apresenta-se na tabela 22.

Tabela 22 Contribuição de resíduos sólidos em função da área e do número de habitantes das bacias hidrográficas.

Bacia Hidrográfica	Matéria Orgânica		Matéria Inorgânica		Total	
	Massa	Massa	Massa	Massa	Massa	Massa
	kg/ha/ano	kg/hab/ano	kg/ha/ano	kg/hab/ano	kg/ha/ano	kg/hab/ano
Cancela Brites, 2005	6,94	0,19	1,47	0,04	8,41	0,23
Alto da Colina Brites, 2005	2,31	0,22	0,91	0,09	3,22	0,31
Cancela - Tamandaí Gonçalves, 2013	16,3	0,4	0,97	0,024	17,27	0,424
Escola Urbana Salles, 2010	86,1	x	30,75	x	116,85	
Rio do meio Gava, 2012	0,27	x		x	0,27	
Itacorubi Galarza, 2015	1,09	0,075	0,63	0,044	1,73	0,119

A contribuição de resíduos sólidos em função da área e do número de habitantes na *Bacia Hidrográfica do Itacorubi* foi calculada em relação aos oito (08) meses em que foram realizadas as coletas, diferentemente do trabalho realizado por Brites (2005) na Bacia Hidrográfica Cancela, no qual foram realizados em oito (08) meses igualmente, e na *Bacia Hidrográfica Alto da Colina*, em que foram realizados em seis (06) meses, sendo estes dois últimos realizados em um número consideravelmente maior de meses. As coletas realizadas na *Bacia Escola Urbanas* ocorreram em quatro (04) meses. Na *Bacia Cancela – Tamandaí* teve curto espaço de tempo de três (03) meses onde foram realizadas as coletas. Mas o fator importante a ser destacado é que ocorreram eventos de precipitação pluviométrica não tão elevados na Bacia Hidrográfica do Itacorubi no espaço de tempo, diminuindo assim a quantificação de resíduos coletados por ano na rede de retenção a diferencia dos demais estudos a precipitação foi muito maior, contribuindo ao aumento da quantidade de resíduos quantificados nas redes de retenção.

Os valores de resíduos sólidos mostram-se semelhantes aos encontrados na bibliografia (Armitage e Rooseboom, 2000). Observou-se que quanto à distribuição em função da área a bacia apresentou resultados maiores que a Bacia do Rio do Meio sendo a mesma área de contribuição de resíduos da Bacia Hidrográfica do Itacorubi, porém, quanto à distribuição em função do número de habitantes o resultado foi contrário. Isto ocorreu devido à quantidade de resíduos retidos por Gava (2012) já que a rede coletora instalada na drenagem urbana só reteve resíduos de uma parte da drenagem, incluindo nas análises só a população de um dos bairros que tem incidência de geração de resíduos e que afetam a drenagem urbana, por isso a quantidade de resíduos em cada ponto de coleta não ter sido proporcional ao número de habitantes, já que a população do presente estudo supera quase quatorze vezes a adotada por Gava (2012).

Outra justificativa foi a maior facilidade de retenção do material no Alto da Colina, portanto, quantificação mais precisa; e pela própria cobertura vegetal das margens, onde os resíduos permanecem retidos impedindo que os mesmos atinjam o local de coleta, esta apresenta pouca vegetação em suas margens (Brites, 2005) ao contrário das margens da rede coletora no presente estudo que apresenta uma cobertura vegetal muito abundante retendo os resíduos veiculados pela drenagem evitando ser atingida pela rede coleta instalada.

Os valores de resíduos sólidos na Bacia Escola Urbana mostram-se extremamente altos quando comparados aos quantificados nas outras bacias. A possível razão para a obtenção destes resultados seria a eficiência hidráulica existente, as características da bacia e o sistema de retenção de resíduos sólidos utilizado conseguiu ser mais eficiente tanto em vazões mínimas quanto em vazões máximas (Gonçalves, 2013). Por se tratar de uma bacia com área consideravelmente menor do que as outras citadas anteriormente está tende a reter muito menos resíduos nas margens, havendo assim poucas perdas para a sua quantificação. Segundo Salles (2010), outro fator importante a destacar seria a ocupação urbana concentrada existente nesta bacia, apresentando graves problemas ambientais, elevando assim o número de resíduos sólidos produzidos e arrastados até a rede de retenção.

Ao analisar os trabalhos verifica-se que todos apresentaram proporcionalidade direta entre a precipitação e o total de Resíduos Sólidos Coletados. No apêndice E mostram-se os resultados dos

trabalhos de Brites (2005), Salles (2010), Gonçalves (2012), Gava (2012) e o deste trabalho.

Assim, através do coeficiente de determinação (R^2), que indica o grau de relação entre uma variável e outra, verifica-se que os resultados mostrados no presente estudo apresentaram uma tendência de proporcionalidade direta entre os resíduos coletados e o total precipitado. Nota-se também que a *Bacia do Rio do Meio*, *Bacia Escola Urbana* e *Bacia Cancela Tamandí* apresentaram o valor de R^2 mais próximo a um (0,74; 0,78; 0,76 respectivamente), indicando que o total de precipitação pode ser um dos principais fatores contribuintes para surgimento dos resíduos sólidos drenados. As *Bacias Alto da Colina* e *Bacia Cancela*, apresentaram os valores mínimos de R^2 (0,59; 0,07 respectivamente) isso por conta do problema na retenção do material no ponto de coleta devido as características físicas das margens da drenagem retendo os resíduos e impedindo a veiculação dos mesmos até o ponto de coleta. Porém segundo os resultados das análises estatísticas do estudo a *Bacia do Itacorubi* apresenta um coeficiente de determinação R^2 de 0,92, confirmando a tendência de proporcionalidade direta dos resíduos e o total precipitado.

5.3.2. Sedimentos na drenagem urbana

Segundo a Tabela 7 são apresentados alguns valores estimados de sedimentos obtidos em algumas cidades brasileiras, de acordo com a literatura. Os valores apresentados são bastante semelhantes entre si com relação aos resultados gerados pelo modelo desenvolvido no presente estudo, principalmente se forem consideradas além das diferenças entre as bacias, as diferentes formas de estimativa. A primeira estimativa para o *rio Tietê*, assim como a estimativa para o *Arroio Dilúvio*, em Porto Alegre, têm valores relativamente menores ($393\text{m}^3/\text{km}^2/\text{ano}$, $750\text{m}^3/\text{km}^2/\text{ano}$ respectivamente), e isto pode ser explicado porque estas foram baseadas no volume de material dragado, que representa apenas uma parte do aporte total, já que parte do sedimento segue sendo transportado pelo rio. O volume de material sólido que deposita na represa da *Pampulha* tem um valor relativamente alto ($2436\text{m}^3/\text{km}^2/\text{ano}$), o que pode ser explicado pelo fato da represa ter maior capacidade de retenção de sedimentos do que os trechos de canal.

Nos resultados obtidos nos diferentes estudos realizados pelos diferentes autores mostraram que os valores superestimam a produção de sedimentos gerada na bacia do Itacorubi, mesmo utilizando-se dados de precipitação obtidos por medições de campo por uma única estação pluviométrica. Assim a produção de sedimentos estimando pelo modelo desenvolvido estima uma quantidade acumulada atual de $192\text{m}^3/\text{km}^2/\text{ano}$ para a bacia hidrográfica do campus da UFSC atingindo o manguezal da bacia hidrográfica do Itacorubi, o valor gerado pelo modelo é muito baixo devido a pouca quantidade de precipitação apresentada no local e à pequena área que abrange a bacia da UFSC.

A utilização do modelo desenvolvido da RUSLE como modelo de previsão de aporte de sedimentos para a bacia hidrográfica estudada ou para bacias de características semelhantes deve ser realizada com cautela, tendo consciência de seus erros e limitações, a menos que, sejam feitas alterações em sua formulação, ajustes em seus coeficientes e mudanças no método de estimativa de seus parâmetros.

Sugere-se aqui, a continuação dos trabalhos de campo na bacia hidrográfica estudada, utilizando um monitoramento mais detalhada, principalmente em dados pluviométricos com mais de uma estação pluviométrica, para que se obtenha um numero mais significativo de eventos a analisar e uma alta resolução temporal na representação destes eventos, de modo que se possa reavaliar a metodologia estudada, fazendo-se um reajustamento mais melhorado de seus coeficientes e parâmetros, e, para que se possam avaliar outras metodologias de previsão.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo visou avaliar por meio da Dinâmica de Sistemas a relação entre a incidência da precipitação, o transporte de sedimentos e a coleta, quantificação e classificação dos resíduos sólidos por meio de uma estrutura de retenção os quais são veiculados na Bacia hidrográfica do Itacorubi, localizada em Florianópolis, SC. Os resultados encontrados foram comparados entre si, obtendo-se um prognóstico quanto aos fatores intervenientes, alterando variáveis como: população, precipitação, caracterização qualitativa e quantitativa dos resíduos, e assim, averiguar se a metodologia proposta, integrando ferramentas como a Dinâmica de Sistemas-DS apoiados com análises de Sistemas de Informação Geográfica-SIG, análises pluviométricos e hidrológicos, contribuem para a melhoria do impacto ambiental apresentados na bacia hidrográfica do Itacorubi. Contudo, é mais relevante citar os aspectos positivos e negativos de cada objetivo específico proposto. A seguir são comentadas as principais conclusões e recomendações sobre os aspectos relativos a cada um dos objetivos específicos proposto neste estudo.

O **primeiro objetivo específico** proposto, foi instalar um sistema de monitoramento para quantificação e qualificação dos resíduos sólidos veiculados pela rede de drenagem na bacia do Itacorubi.

A *estrutura de coleta* dos resíduos sólidos instalada mostrou-se satisfatória em termos de captação e retenção, observando a passagem livre d'água, tendo em conta a perda de material e da rede apresentados nos dois eventos de precipitação máxima.

A enorme importância da caracterização dos *resíduos sendo qualificados e quantificados* nas redes de drenagem está relacionada ao elevado risco que eles contemplam, ao causar inundações e elevadas concentrações de poluentes aumentando o impacto ambiental. Assim que trabalhos desta natureza são produzidos com o fim de gerar informações de apoio à proposição de medidas de controle adequadas para evitar possíveis danos em alguma etapa do processo de gestão.

Em relação *ao monitoramento*, concluiu-se que no total foram coletadas, em 38 eventos de precipitação, quantidades consideráveis de resíduos sólidos, onde a precipitação total foi de 1.049mm com um total de resíduos sólidos coletados de 1591kg, onde a maior parte foi de matéria orgânica, com 63% dos resíduos quantificados;

A *curva de previsão* de resíduos sólidos apresentada tem como objetivo propor um parâmetro para verificar o comportamento dos

resíduos sólidos urbanos que a população vem efetuando. Observou-se uma correlação entre a quantidade de resíduos sólidos carreados e a precipitação pluviométrica total com um $R^2 = 0,92$ afirmando com isto que o transporte de resíduos sólidos denota um crescente aumento do volume no escoamento superficial.

O **segundo objetivo específico** proposto, foi desenvolver um modelo baseado na Dinâmica de Sistemas (DS) para analisar as relações entre precipitação, transporte de sedimentos e resíduos sólidos na rede de drenagem.

Em relação ao *modelo desenvolvido* na dinâmica de sistemas, o modelo proposto potencializou a utilização e integração do Sistema de Informação Geográfica - SIG como ferramenta de suporte e apoio ao modelo, uma vez que uniram as informações distribuídas na bacia hidrográfica do Itacorubi.

A *distinção entre as fontes de poluição* no modelo e seu comportamento torna-se essencial para identificar os principais responsáveis pela poluição, além de permitir o entendimento das ações de mitigação à poluição no computo geral da poluição gerada na Bacia.

A construção do modelo através de *programação computacional* possibilita explorar a criatividade do usuário, permitindo a incorporação de mais elementos do contexto decisório

Em *relação à estimativa anual de resíduos sólidos*, caso não haja ação pelos órgãos de controle no impedimento do acúmulo dos mesmos no rio por evento pluvioso, no ano 2015 foi carreado um total de 240 ton/ha nos 08 meses de coleta de amostras, sendo este valor interpolado a partir dos dados estimados pelo modelo chegando na ordem de 316 m³/ha/ano de resíduos na drenagem urbana analisada para os 12 meses.

O **terceiro objetivo específico** proposto, visou analisar a tendência do comportamento futuro dos sólidos totais veiculados pela drenagem urbana com base em dados atuais da bacia hidrográfica do Itacorubi

O modelo de simulação dinâmica permitiu estimar, com um horizonte de tempo de 35anos, que os *Sedimentos Totais Gerados pela Perda do Solo (STotPGS)* avaliado pela RUSLE gerou uma carga de 4 ton ha⁻¹ para o primeiro ano de simulação (2015) e um valor acumulado de 7.650 ton ha⁻¹ no período simulado (2015 – 2050).

Foi observada uma geração crescente das Cargas Poluentes de 138 m³ km² para o primeiro ano de simulação (2015) e 464.231 m³ km²

no período simulado (2015 – 2050), evidenciando assim o aumento devido à poluição difusa.

O valor estimado dos *Sólidos Totais Gerados* pelo modelo foi de 192 m³ km² para o primeiro ano de simulação (2015) e um valor acumulado de 464.535 m³ km² no período simulado (2015 – 2050).

Baseando-se em dados encontrados pela literatura, conseguiu-se realizar uma *comparação dos resultados* gerados pela simulação, mas as diferenças encontradas entre as bacias estão relacionadas com as características próprias de cada uma delas. Assim, como as outras bacias comparadas, a bacia hidrográfica do Itacorubi apresentou tendência crescente entre a quantidade de resíduos sólidos veiculados e a precipitação pluviométrica total.

Na eficácia da utilização do modelo de simulação dinâmica para gerar e estimar dados a um determinado tempo futuro e assim poder implementar alternativas de gestão na solução do impacto ambiental.

Pode-se concluir com a simulação que:

- ✓ O modelo indicou que a poluição difusa pode ser mais significativa que a poluição pontual, o que denota a necessidade do investimento e mais contribuição em estudos para a quantificação da carga difusa e o aprimoramento das medidas de combate alternativas em cada uma delas;
- ✓ Utilizando as características originais de formulação e uso, propostas por Wischmeier e Smith, 1965, a RUSLE se mostrou adequada como método de previsão do aporte de sedimentos no Rio do Meio afluente da Bacia Hidrográfica do Itacorubi, embora os valores não superestimem os valores gerados pelos diferentes autores, o modelo pode ser modificado e melhorado com dados precipitação de mais estações pluviométricas, mas com o fim de ter uma estimativa de geração de sedimentos muito mais próxima aos resultados comparados;
- ✓ O modelo desenvolvido para a RUSLE deve seguir-se desenvolvendo a futuro com o fim de indicar o comportamento das atividades antropogênicas e o que o manejo do solo influi no estado do solo. O modelo assim é útil para destacar os fatores mais importantes que tem maior impacto na erosão do solo na zona estudada. Pequenas modificações podem-se realizar segundo a necessidade do usuário, mas sem embargo o modelo é altamente aplicável em qualquer área baseado em Bacias Hidrográficas;

- ✓ O modelo dinâmico de sistemas para a caracterização e quantificação dos resíduos sólidos coletados forneceram valores semelhantes do que foi encontrado na literatura, ou seja, nos 8 meses de estudo, o método direto tem como resultado valores acorde com a realidade. O modelo assim possibilitou identificar de uma forma rápida e clara cada uma de suas variáveis, além da facilidade de inserir os dados dos diferentes resíduos classificados e caracterizados na rede coletora;
 - ✓ A formulação matemática acompanhada de mapas temáticos ajuda a identificar as principais características próprias de diferentes fatores próprias do solo, e assim integrando seus dados com o modelo sistêmico conseguindo dar suporte aos dados fornecidos em campo, a fim de transmitir as informações de modo que o modelo cumpra o objetivo de melhorar o entendimento dos avaliadores;
- Programas de educação ambiental com o objetivo de reduzir a elevada quantidade de resíduos depositados na drenagem.
- Para futuros estudos recomenda-se:
- ✓ Construção de uma estrutura autolimpante a fim de remover os resíduos mais facilmente e com menor custo baseado em alguns autores (BEECHAM e SABLATNIG , 1994 apud NEVES, 2006);
 - ✓ A utilização de dados de monitoramento do local de estudo para calibrar o modelo;
 - ✓ A coleta de amostras em uma quantidade maior de eventos de precipitação para melhor precisão nas estimativas dos resíduos sólidos transportados pela drenagem;
 - ✓ Utilizar séries de dados de precipitação com mais de 30 anos, a fim de obter uma melhor estimativa no valor do fator R (erosividade) e utilização de um gerador climático;
 - ✓ Continuar com as pesquisas vindas da drenagem urbana, tomando-se inclusive como referência bacias com outras condições de uso do solo e de serviços básicos de saneamento semelhantes. A instalação de alguma estrutura de retenção autolimpante é necessária para este tipo de pesquisa caso não se possa garantir a presença de alguém no momento da ocorrência da chuva.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004**. Resíduos sólidos – Classificação. 2.ed. : [S.l. : s.n.], 2004, 71 p.
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. 2014.** Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2014.
- AKAN A. OSMAN. Urban stormwater hydrology. 1993, 268p.
- 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**. Research Report for the Cooperative Re-search Centre for Catchment Hydrology, Australia, 98 pp.33, 1998.
- AMVA-325-IN-PR. **Formulación del plan de gestión integral de residuos sólidos Regional del valle de Aburra – PGIRSR, proyecciones de generación y gestión de residuos sólidos con Dinámica de sistemas**, Corantioquia – Colombia, 2006.
- ARACIL, J. **Introducción a la dinámica de sistemas**. Ed. Alianza. Volumen 205. Pag. 303, 1978.
- ARMITAGE, N.; ROOSEBOOM, A. **The removal of urban litter from storm water conduits and streams: paper 1 – The quantities involved and catchment litter management options**. Water SA, v. 26, n. 2, abril, 2000.
- ARMITAGE, N.; ROOSEBOOM, S. **The removal of litter from storm water conduits in the developing world**. Water Science and Technology. Volume 39, Issue 9, Pages 277–284, 1999.
- AVILA, S. L. “Análisis del impacto generado en un Sistema de Gestión Integral de Resíduos Sólidos por el aumento de los residuos asociados al crecimiento de la población a través de Dinámica de Sistemas”. 9 encuentro Colombiano de dinámica de sistemas, 2011.
- BARLAS, Y. **Formal aspects of model validity and validation in system dynamics**. System Dynamics Review, Cambrihge, n 12, p. 183-210, 1996.
- BEECHAM, S. C.; SABLATNIG, S. J. **Hydraulic modelling of stormwater trashracks**. Hydraulics in Civil Engineering Conference, University of Queensland, Brisbane, 1994.

- BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos: EESS/USP, 1999. 120 p.
- BOLLMANN, H.A. **Relação da densidade populacional sobre variáveis de qualidade físico-química das águas superficiais em microbacias hidrográficas urbanas sem cobertura sanitária em Porto Alegre – RS**. 2003. 145f. tese (Doutorado em Engenharia)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS. 2003.
- BONUMÁ, N.B.; REICHERT, J.M.; RODRIGUES, M.F.; MONTEIRO, J. A. F.; ARNOLD, J.G. ; SRINIVASAN, R. . **Modeling Surface Hydrology, Soil Erosion, Nutrient Transport, and Future Scenarios with the Ecohydrological Swat Model in Brazilian Watersheds and River Basins**. In: Clístenes Williams Araújo do Nascimento; Valdomiro Severino de Souza Júnior; Maria Betânia Galvão dos Santos Freire; Edivan Rodrigues de Souza. (Org.). 1ed.: SBSCS, 2015, v. 9, p. 241-290
- BORENSTEIN D, BECKER JL. **Validating Decision Support Systems**, Encyclopedia of Microcomputers, Marcel Dekker, New York. 2000.
- BRASIL. Lei Nº 11.445, DE 5 DE JANEIRO DE 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 02 jan. 2014.
- _____. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Dispõe sobre a instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Brasília, DF. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/19433.htm>. Acesso em: 08 abril 2013.
- _____. Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 02 jan. 2014.

_____. Resolução CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente no 357. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e de outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 de março de 2005.

_____. Resolução CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 275 de 25 de abril de 2001. Dispõe sobre os códigos de cores para diferentes tipos de resíduos. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=273>>. Acesso em: 02 jun. 2013.

BRITES, A. P. Z. **Avaliação da qualidade da água e dos resíduos sólidos no sistema de drenagem urbana**. 177f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS. 2005.

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. Volume 12 n.4, 211-221. 2007.

CAKULA, A.; FERREIRA, V.; PANAGOPOULOS, T. **Dynamic Model of Soil Erosion and Sediment Deposit in Watersheds**. Research Centre for Spatial and Organizational Dynamics (CIEO), 2011.

CAMPANA, N.A. E TUCCI, C.E.M. **Estimativa de área impermeável de macro bacias urbanas**. Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos. Rio de Janeiro/RJ, v.2. n.2, Pag. 79-94, dez. 1994.

CAMPANÁRIO, P. **Florianópolis: dinâmica demográfica e projeção da população por sexo, grupos etários, distritos e bairros (1950-2050)**. Florianópolis, SC: IPUF, Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis. 2007.

CAMPOS, E.T. **A gestão territorial urbana no município de Florianópolis: uma abordagem sobre a expansão imobiliária e seus impactos ambientais**. Dissertação apresentada como requisito

- parcial à obtenção do grau de Mestre em Administração. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Administração. Área de Concentração em Políticas e Gestão Institucional, 2004. 234p.
- CANALI, G.E. **Produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas rurais**. Efeito das características das chuvas, da declividade das vertentes e do uso do solo. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental).Porto Alegre: IPH-UFRGS, 1981. 239 p.
- CARVALHO, R. **Vulnerabilidade socioambiental a desastres na Bacia Hidrográfica do rio Itacorubi, Florianópolis, SC**. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como um dos pré-requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. 2010.
- COLLARES, DANIEL *et al.* **A Bacia do Itacorubi**. Florianópolis: 2004. Disponível em: www.arq.ufsc.br/urbanismoV/2004-1/final.pdf. Acessado em: 20 de novembro de 2014.
- DA MATA, D.; ALBUQUERQUE, C.W.; PIN, C.; RESENDE, G. **Migração, Qualificação e Desempenho das Cidades Brasileiras**. 2007. In: CARVALHO, A.X. et.al. Dinâmica dos Municípios. IPEA, 326 p.
- DANNY, W.I. **“Modelo Sistémico para el Manejo de Residuos Sólidos en Instituciones Educativas en Colombia”**.9 encuentro colombiano de Dinámica de Sistemas, Universidad del Rosario-Colombia, 2011.
- DENG, Z.Q.; LIMA, J.; JUNG, H.S. **Sediment transport raté-based model for rain fall induced soil erosion**. Caténa 2009, 76 (1), 54–62.
- DEP. **Concurso Arroio Dilúvio** - Edital no 01/93 Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Departamento de Esgotos Pluviais 12 p. 1993.
- DYNER R., ISAAC. **Dinámica de sistemas y simulación contínua en el proceso de planificación**. Colciencias, Universidad Nacional de Colombia-Medellín. 1993.
- DYSON, B. **“Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling”**. Waste management, 2005.
- FARAH, F. **Habitação e Encostas**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 312p. 2003. Disponível em:

<<https://es.scribd.com/doc/26738483/Habitacao-em-Encostas>>.

Acesso em: 02 jun. 2014.

- FERNANDES, A. C. C. **Os Comitês de Bacias Hidrográficas e suas implicações para o gerenciamento dos recursos hídricos.** Monografia Não-Publicada, Curso de Bacharelado em Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
- FORRESTER, J. **Industrial dynamics.** Cambridge, MA: M.I.T. Press. 464 p. 1961.
- _____ **Information sources for modeling the national economy.** Journal of the American Statistical Association, New York, v. 75, n. 371, p. 555-566, 1980
- _____ **Profiles in Operations Research.** New York, Springer: 363-386. 2011.
- FU, B.; NEWHAM, L.T.; RAMOS-SHARRON, C.E. **A review of surface erosion and sediment delivery models for unsealed roads,** Environmental Modelling & Software, Vol.25, 2010, pp.1-14.
- FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento.** 4º ed, Brasília: FUNASA, 2007.
- FUZINATTO, C.F. **Avaliação da qualidade da água de rios localizados na ilha de Santa Catarina utilizando parâmetros toxicológicos e o índice de qualidade de água.** Dissertação de mestrado curso de Pós Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. 2008.
- GALARZA, L.H.W.; BONUMÁ, N.B.; FRANCO, A.C.L. **Combinação de um modelo de dinâmica de sistemas e SIG na estimativa de perda do solo.** Anais XXI simpósio brasileiro de recursos hídricos-ABRH, Brasília-DF/Brasil. 2015.
- GALLARDO, A. **Metodología para el diseño de redes de recogida selectiva de RSU utilizando sistemas de información geográfica. Creación de una base de datos aplicable a España.** Valencia: Tesis doctoral publicada en la Universidad Politécnica de Valencia, 2000. Disponível em: <<https://www.educacion.gob.es/teseo/mostrarRef.do?ref=237975>>, Acesso em: 10 de Outubro de 2014.
- GAVA, T; FINOTTI, A. **Análise das características que influenciam no surgimento dos resíduos sólidos urbanos na rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio do Meio, município de**

- Florianópolis/SC.** Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. UFSC 2012
- GONÇALVES, I. **Resíduos sólidos no sistema de drenagem urbana na bacia do arroio Tamandaí em Santa Maria – RS.** Dissertação de mestrado. UFSM, RS 2013
- GOOVAERTS, P. **Using elevation to aid the geostatistical mapping of rainfall erosivity.** Catena, Vol.34, 1999, pp.227-242.
- GRCIC, B.; MUNITIC, A. **System dynamics approach to validation.** Disponível em: <http://www.efst.hr/~grcic/b2.html> . Acesso em: setembro 2015. 2005.
- GUIMARÃES, M., A.; VALDEMIR, A. **Transporte de sedimentos suspensos antes e depois da dragagem no rio das antas– Irati/PR.** XVII ENGI- Encontro Nacional de Gestão Industrial. 2012.
- GUY, H. P. **Research needs regarding sediment and urbanization.** Journal of the hydraulics division ASCE V 93 No.HY 6 p. 247-254. 1967. Disponível em: <<https://www.sciencebase.gov/catalog/item/50579c91e4b01ad7e0285dd9>>. Acesso em: 10 de Outubro de 2014.
- IBGE. Atlas do Censo Demográfico - 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/apps/atlas/>>. Acesso em: 10 de Outubro de 2014.
- ISEE Systems. **Stella Simulation Software.** Disponível em: <<http://www.iseesystems.com/>>. Acesso em: outubro 2015.
- IThINK ANALYST. **An introduction to systems thinking.** High Performance Systems, Inc. 186p. 1997.
- JACOBI, P.R.; BESEN, G.R. **Gestão de Resíduos Sólidos em São Paulo: Desafios da Sustentabilidade.** Estudos Avançados, São Paulo v.25, n.71, p.135 – 158, 2011.
- KELMAN, J. **O desafio de levar água para todos.** Revista SENAC e Educação Ambiental, Rio de Janeiro, ano 12, n. 1, p. 8-12, jan./abr., 2003. Disponível em: <http://www.senac.br/informativo/educambiental/EA_012003/entravista.asp>. Acesso em: 20 nov. 2012.
- LABDREN. Pesquisas realizadas pelo LABDREN (Laboratório de Drenagem) /ENS/CTC/UFSC, desde 1996 a 2002, na área de hidrologia urbana. CD-ROM. V.5 Florianópolis, SC, 2002.

- LEOPOLD, L.B.. **Hydrology for urban planning - A guide book on the Hydrologic effects of urban land use.** USGS circ. 554 18 p. 1968.
- LLORET RAMOS, C. **Erosão urbana e produção de sedimentos** In: Drenagem urbana. Tucci, C. E. M.; Porto, R. L. L.; Barros, M. T. ABRH 428 p. 1995.
- LOMBARDI NETO F. **Rainfall Erosivity - its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil** [dissertation]. West Lafayette: Purdue University; 1977.
- MANOJ K. JAIN; UMESH C. KOTHYARI. **Estimation of soil erosion and sediment yield using GIS Hydrological Sciences.** Journal-des Sciences Hydrologiques, 45 . 2000.
- MANUAL De GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS. José Henrique Penido Monteiro ...[et al.]; coordenação técnica Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.
- MAXIMILIANO, C. “**Modelo de Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos para el Área Metropolitana de Buenos Aires**”. Encuentrodinámica de sistemas, 2012.
- MAYS, W.L. **Stormwater Collection Systems Design Handbook** de Larry Mays: v. 1 (McGraw-Hill Handbooks). 2001.
- MCCUEN, RICHARD H. **Hydrologic Analysis and Design**, Chapter 8, second edition. Prentice hall. New York. 1998.
- MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria – Uso racional e reuso.** Oficina de Textos. São Paulo, 2005, 143 p.
- MENDES, C.A.B.; CIRILO, J.A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação.** Porto Alegre: ABRH, 2001. 536 p.
- MENESES, A.S.; TUCCI, C.E. **Impacto da urbanização na produção anual de cargas poluentes, com incerteza.** 6º SILUSBA – Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Português. 2003.
- MERCEDES, S. S. P. **Perfil da geração de resíduos sólidos domiciliares no município de Belo Horizonte no ano de 1995.** 19o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu: ABES. 1997.
- MERRITT, W.S.; LATCHER, R.A.; JAKEMAN A.J.A **review of erosion and sediment transport models,** Environmental Modelling & Software, Vol.18, 2003, pp.761– 799.
- MICHAUD, J. P. A. **Citizen’s user guide to Understanding and**

- Monitoring Lakes and Streams.** Washington State Centennial Clean Water Found, 73p. 1991.
- MILLER, R.W; GARDINER, D.T. **Soils in Our Environment**, 8th Ed.; Prentice-Hall: Upper Saddle River, NJ, 1998.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES, INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios.** Org.: Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo, Agostinho Tadashi Ogura. Brasília: Min. das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.
- MULUNGO, E. H. ; CORSEUIL, C. W. ; KOBİYAMA, M. ; MONTEIRO, L. R. . **Análise das mudanças do uso do solo e suas consequências na vazão por meio do modelo HEC-HMS: Estudo de Caso da Bacia do Campus da UFSC.** In: Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2012, Belo Horizonte. XV Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2012
- NASCIMENTO, N.O; HELLER, L. **Pesquisa nas áreas de interface recursos hídricos e saneamento.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, vol.10 - No 1 - 2005, 36-48.
- NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, JR.; WILLIAMS, J.R.; KING, K.W. **Soil and Water Assessment Tool (SWAT): theoretical documentation, version 2000.** College Station: Texas Water Resources Institute Report TR-191, 2002. 267 p.
- NETO, G. *et al.* **Áreas urbanas degradadas: relações com a gestão dos resíduos sólidos.** Revista de Desenvolvimento Econômico, Salvador, v.9, n. 1, p. 86-92, jan. 2006. Disponível em:<<http://www.revistas.unifacs.br/index.php/rde/article/viewFile/79/83>>. Acessoem: 13 out. 2014.
- 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.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, v. 16, p. 331-336, 2011.
- _____. **Resíduos Sólidos na Drenagem Urbana: Aspectos Conceituais.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 13 n.3, 125-135. 2008.
- OLIVEIRA, M. G. B.; BAPTISTA, M. B. **Análise da evolução temporal da produção de sedimentos na bacia hidrográfica da Pampulha e avaliação do assoreamento do reservatório.** Anais.

- XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - ABRH. Vitória. 1997.
- OLIVEIRA, O.F. **Modelo para negociar as alternativas de gestão de Bacias: o caso do Programa Pró- Dilúvio em Porto Alegre, RS.** 2006. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós- Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/ RS. 2006.
- _____ **“A Utilização da Simulação Dinâmica como Ferramenta de Apoio à Gestão de Bacias Hidrográficas: O Caso do Arroio Dilúvio em Porto Alegre, RS”**. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 15 n.4 Out/Dez 2010, 17-29.
- ORELLANA GONZÁLEZ, A.M.G. **Sostenibilidad de los recursos hídricos en São Miguel do Anta, Minas Gerais: un enfoque de dinámica de sistemas.** 2006. 104 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- OUYANG, Y. **Modeling the mechanisms for uptake and translocation of dioxane in a soil-plant ecosystem with Stella,** Journal of Contaminant Hydrology, Vol.95, 2008, pp.17-29.
- OWENS, P.N.; BATALLA, R.J.; COLLINS, A.J.; GOMEZ, B.; HICKS, D.M.; HOROWITZ, A.J.; KONDOLF, G.M.; MARDEN, M.; PAGE, M.J.; PEACOCK, D.H.; PETTICREW, E.L.; SALOMONS, W; TRUST-Rum, N.A. **Fine-grained sediment in river systems: Environmental significance and management issues.** River Res. Appl. **2005**, 21 (7), 693–717.
- PANAGOPOULOS, T.; FERREIRA, V. **Erosion Risk Map of a Foupana River Watershed in Algarve, Portugal,** WSEASTransactions on Environment and Development, Vol.6,No.9, 2010b, pp.635-644.
- _____ **Decision Support System for Erosion Risk Assesment, Last trends on systems**Vol.1, 2010a, pp.76-80.
- PARFITT, J.; FLOWERDEW, P. **Methodological problems in the generation of house hold waste statistics. An analysis of the United Kingdom’s National Household Waste Analysis Program me.** Applied Geography. Vol. 17, No. 3, pp. 231-244.1997.

- PAULO, R. C. **Introdução À Dinâmica De Sistemas**. Universidade Federal De Juiz De Fora Faculdade De Engenharia. Disponível em: <http://www.ufjf.br/ciro_barbosa/files/2011/02/ds_parte1.pdf>, pp.16-17. 2005.
- PEREIRA, M. A.; MARQUES, C. S. A.; AGUIAR, E. M. **Sugestões para uma proposta do uso de novas ferramentas tecnológicas de informação para um sistema de gestão ambiental – ISO 14000**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 8, n.1/ v. 8, n. 2, p. 49-53, 2003.
- PGRS. **Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Município de Florianópolis / SC. Companhia Melhoramentos da Capital – COMCAP. 2011
- PMISB. **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico do Município de Florianópolis**. Prefeitura Municipal de Florianópolis – SC. Secretaria Municipal de Habitação e Saneamento Ambiental – SMHSA. , 2010.
- POMPÊO, C.A. **Drenagem Urbana Sustentável**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 5, n.1. ABRH, 15-23. 2000.
- PORTO, M.F.A. **Aspectos Qualitativos do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas**. In: Tucci, C.E.M.; Porto, R.L.L.; Barros, M.T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 1995, V.5, p.387-414. Disponível em:
<<http://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&PUBLICACAO=RBRH>>. Acesso em: 02 jun. 2014.
- REICHERT, J.M., BONUMÁ, N.B.; MINELLA, J.P.G.; MERTEN, G.E. **Erosion by Water: Assessment and Control**. In Encyclopedia of Environmental Management. Taylor and Francis: New York, Published online: 29 May. Pág.963-973.2013.
- REIS, M. F. P.; ELLWANGER, R. M.; PESCADOR, F. S.; COTRIM, S. L.; REICHERT, G. A.; ONOFRIO, E. T. **Estudos preliminares para caracterização dos resíduos sólidos domiciliares do município de Porto Alegre**. VI Seminário Nacional de Resíduos Sólidos: R.S.U. especiais. Gramado: ABES. 2002. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/260311874_Estudos_Preliminares_para_caracterizao_dos_Resduos_Slidos_Domiciliares_d_o_Municpio_de_Porto_Alegre> Acesso em: 02 jun. 2014.
- RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; MCCOOL, D.K.; YODER, D.C., **Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to**

- Conservation Planning With The Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), USDA, Agricultural Handbook, No.703, 1996.**
- RENSCHLER, C.S.; HARBOR, J. **Soil erosion assessment tools from point to regional scales- The role of geomorphologists in land management research and implementation.** *Geomorphology* 2002, 47, 189–209
- RIGHETTO, A.M. **Hidrologia e recursos hídricos.** São Carlos: EESC/USP, 1998. 264p.
- RUTH, M.; HANNON, B. **Modeling dynamics economic systems.** New York: Springer-Verlag, 339 p. 1994.
- RYDING, S.O., RAST, W. **The control of eutrophication of lakes and reservoirs.** New Jersey: The Partheon Publishing Group. 1989.
- RYKIEL, E.J. **Testing ecological models. The meaning of validation.** *Ecological Modelling*, Amsterdam, n. 90, p. 229-244, 1996-
- SALLES, A. **Resíduos sólidos drenados em sub-bacia hidrográfica urbana em Santa Maria - RS.** 2010. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós Graduação em Eng. Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- SALLES, A.; SILVEIRA, G.L.; WOLFF, D.B.; CRUZ, J.C. Captura de Resíduos Sólidos Drenados em uma Bacia Hidrográfica Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, p. 149-155, 2011.
- SANCHEZ, R.; MARCOS, F.; ORELLANA, A. **Situação dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá utilizando modelo desenvolvido em dinâmica de sistemas.** Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162009000400008>. *Eng. Agríc.* vol.29 no.4 Jaboticabal 2009.
- SCHUELER, T. **Controlling Urban Runoff: a Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs.** Washington: Metropolitan Washington Council of Governments. 229p. 1987.
- SEBRAE/SC. **Serviço de apoio às micro e pequenas empresas Santa Catarina.** Santa Catarina em números “Macrorregião Grande Florianópolis”.2013.
- SILVEIRA, G. L. **Avaliação da Erosão na região da Encosta da Serra no Rio Grande do Sul: Influência do uso do solo e da declividade da vertentes na Produção de Sedimentos em Pequenas Bacias Hidrográfica Rurais.** Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1982.

- SIMONETTO, E.; LÖBLER, M.L. **Simulation based on system dynamics to evaluate scenarios about the generation and disposal of municipal solid waste**. African Journal of Business Management Vol. 6 (50), pp.11976-11985, 19 December, 2012.
- SIM - Sistema de Informações sobre Mortalidade. Ministério da Saúde. Disponível em < <http://svs.aids.gov.br/cgiae/sim/>>. 2011. Acesso em: 28 out. 2014.
- SNIS – **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. 2014. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>> Acesso em junho de 2015.
- SOIL SURVEY DIVISION STAFF. **Soil survey manual. USDA - Soil Conservation Service**. Department of Agriculture Handbook 18. Gov. Print. Office, Washington, D.C. 503 pp. 1993. Disponível em: <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/ref/?cid=nrcs142p2_054262>. Acesso em junho de 2015.
- SOUZA, C.; BARRETO, G.; LIMA, R.; GOMES, E.; CHAGAS, C. **Zoneamento agroecológico da Bacia Hidrográfica do Almada (Bahia) com uso de sistema de informação geográfica**. Espaço & Geografia, Vol.15, No 1. 2012, 207:227
- STERMAN, J. D. **Systems dynamics modeling for project management**. Disponível em: <<http://www.systemdynamics.org>> . Acesso em: setembro 2015. 2005
- TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **Gestión Integral de Residuos Sólidos**. Vol. I y II, Madrid: McGraw-Hill. 1994.
- TOMAZ, P. **Estimativa da carga de poluente pelo Método Simples de Schueler**. Capítulo 30. Curso de Manejo de águas pluviais. 2009.
- _____. **Infiltração pelo Método de Horton**. Capítulo 86. Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais. 2010.
- _____. **RUSLE – Equação revisada universal da perda de solo**. Capítulo 23. Curso de Manejo de águas pluviais. 2008.
- TUCCI, C. E. M. **Coefficiente de escoamento e vazão máxima de Bacias Urbanas**. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. M. (Org). Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre/RS:ABRH, 2001. v.2, Pag 3 – 18.
- _____. **Gerenciamento da Drenagem Urbana**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 7, n.1. ABRH. – Porto Alegre / RS: ABRH, 2002. p 5-27.

- _____. **Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil**. REGA – Vol. 1, no. 1, p. 59-73, jan./jun. 2004
- _____. **Gestão de inundações urbanas** – ministério das Cidades – Global Water Partner ship - World Bank – Unesco 2005. Pag 9 - 194
- _____. **Águas urbanas. Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p.1-16, 2008.
- TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. **Drenagem urbana e Controle de Erosão**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROÇÃO, 6, 1998. **Anais...** Presidente Prudente: ABGE, 1998.
- VALERIANO, M.M. **Dados topográficos**. In: FLORENZANO, T.G. (Org.). Geomorfologia, conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p.72-104.
- VÍCTOR M, 1989. "Engineering Hydrology", Editorial Prentice Hall, 1989. Cap 13.
- VILLA, f.; VIONOV, A.; FITZ, C.; CONSTANZA, R. Calibration of large spatial models: a multistage, multiobjective optimization technique. In: CONSTANZA, R.; VOINOV, A. (Ed.) **Landscape simulation modeling: a spatially explicit, dynamic approach**. New York: Springer, 2004. 47-116.
- VOLK, M.; MOLLER, M.; WURBS, D.A **pragmatic approach for soil erosion risk assessment within policy hierarchies, Land Use Policy**, Vol.27, No.4, 2010, pp.997-1009.
- WINZ, I.; BRIERLEY, G.; TROWSDALE, S. **The Use of System Dynamics Simulation in Water Resources Management**. Water Resour Manage 23:1301–1323P. 2009.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses -- a guide to conservation planning**. Agriculture Handbook No. 537.U.S. Department of Agriculture, Washington, DC, 1978.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountain**. Washington, DC: ARS/USDA, 1965.
- YEH, S.; WANG, C.; YU, H.; **Simulation of soil erosion and nutrient impact using an integrated system dynamics model in a watershed in Taiwan**. Environmental Modelling & Software 21. 937 e 948p. 2006

Apêndice A - Quantificação dos resíduos coletados na rede de retenção (Kg) e precipitação pluviométrica (mm) no Rio do Meio.

Data do Evento de Precipitação	Precip. (mm)	CLASSE INORGÂNICA									CLASSE ORGÂNICA			TOTAL P/EVENTO			
		Plástico	Metals	Vidro	Têxtil e Isolap	Papelão	Pneus e borrachas	Porcelana	Ambulatórios Animais	Outros	Resíduo de alimentos	Resíduo de Vegetação	Madeira processada				
29/04/2015 a 30/04/2015	0,8	Kg 0,76 % 25,2	Kg 0,02 % 0,7	0	0,26 8,6	0,04 1,3	0	0	0	0	0	0	0	Kg 0 % 0,0	Kg 1,94 % 64,2	0 0,0	3,02
03/05/2015 a 04/05/2015	6,4	Kg 0,85 % 14,0	Kg 0,55 % 9,1	0,17 2,8	0,31 5,1	0,3 5,0	0	0	0	0,83 13,7	0	0	0	Kg 0,83 % 0,0	Kg 3,04 % 50,2	0 0,0	6,05
10/05/2015 a 13/05/2015	25,7	Kg 4,55 % 13,8	Kg 0,43 % 1,3	0,61 1,9	1,03 3,1	0,78 2,4	0,54 1,6	0,58 1,8	0	0	0	0	0	Kg 0 % 0,0	Kg 23,17 % 70,4	1,23 3,7	32,92
14/05/2015 a 18/05/2015	31,2	Kg 5,14 % 9,9	Kg 0,65 % 1,2	2,3 4,4	1,44 2,8	0,46 0,9	0,78 1,5	0,67 1,3	0,12 0,2	4,76 9,1	0	0	0	Kg 0 % 0,0	Kg 26,05 % 50,0	9,7 18,8	52,15
19/05/2015 a 21/05/2015	28	Kg 4,89 % 10,4	Kg 0,78 % 1,7	2,69 5,7	1,36 2,9	0,97 2,1	1,26 2,7	0,88 1,9	0	1,99 4,3	0	0	0	Kg 0,31 % 0,7	Kg 25,69 % 54,9	5,98 12,8	46,8
24/05/2015 a 25/05/2015	11,5	Kg 2,72 % 14,1	Kg 0,89 % 4,6	0,39 2,0	1,07 5,5	0,25 1,3	0	0	0	2,87 14,9	0	0	0	Kg 0,28 % 1,5	Kg 9,3 % 48,2	1,53 7,9	19,3
26/05/2015 a 27/05/2015	63	Kg 10,74 % 9,6	Kg 2,16 % 1,9	0,42 0,4	1,59 1,4	0	1,83 1,6	1,41 1,3	0	6,24 5,6	0	0	0	Kg 2,1 % 1,9	Kg 74,82 % 66,7	10,8 9,6	112,11
11/06/2015	3	Kg 0,58 % 11,2	Kg 0,36 % 6,9	0,09 1,7	0,2 3,9	0,38 7,3	0,02 0,4	0,6 11,6	0	1,09 21,0	0	0	0	Kg 0 % 0,0	Kg 1,87 % 36,0	0 0,0	5,19
13/06/2015 a 15/06/2015	57,6	Kg 9,89 % 9,0	Kg 1,77 % 1,6	0,83 0,8	2,42 2,2	7,31 6,7	8,99 8,2	0,51 0,5	0	1,17 1,1	0	0	0	Kg 0 % 0,0	Kg 68,51 % 62,5	8,26 7,5	109,66
18/06/2015	9,9	Kg 1,35 % 7,5	Kg 0,94 % 5,2	1,34 7,4	1,38 7,6	0	1,56 8,6	0	0	2,77 15,3	0	0	0	Kg 0 % 0,0	Kg 7,6 % 42,1	1,12 6,2	18,06
24/06/2015 a 27/06/2015	3,1	Kg 0,91 % 7,5	Kg 0,58 % 4,8	0,38 3,1	0,79 6,5	0,8 6,6	0	0	0	0,88 7,3	0	0	0	Kg 0 % 0,0	Kg 1,05 % 8,7	6,69 55,4	12,08
30/06/2015	0,1	Kg 0,5 % 51,0	0 0,0	0	0,13 13,3	0,1 10,2	0	0	0	0	0	0	0	Kg 0 % 0,0	Kg 0,25 % 25,5	0 0,0	0,98
03/07/2015	1,9	Kg 0,56 % 23,5	Kg 0,38 % 16,0	0	0,28 11,8	0	0	0	0	0	0	0	0	Kg 0 % 0,0	Kg 0,49 % 20,6	0,57 23,9	2,38
06/07/2015 a 8/07/2015	18,6	Kg 3,03 % 9,5	Kg 0,95 % 3,0	1,64 5,6	1,15 4,1	0,56 1,8	1	0,83 3,1	0,19 0,6	0,93 2,9	0	0	0	Kg 0,77 % 2,4	Kg 16,61 % 52,3	4,11 12,9	31,77
10/07/2015 a 13/07/2015	11,1	Kg 0,59 % 3,0	Kg 0,34 % 1,8	1,09 5,6	0,28 1,4	0,89 4,6	0	0	0	1,58 8,2	0	0	0	Kg 0 % 0,0	Kg 11,09 % 57,3	3,5 18,1	19,36
14/07/2015 a 17/07/2015	39,5	Kg 8,89 % 16,8	Kg 2,76 % 5,2	1,07 2,0	3,04 5,8	2,51 4,8	0,41 0,8	0,78 1,5	0	4,59 8,7	0	0	0	Kg 1,96 % 3,7	Kg 16,97 % 32,1	9,81 18,6	52,79
20/07/2015 a 21/07/2015	15,74	Kg 2,79 % 8,4	Kg 0,76 % 2,3	2,06 6,2	0,97 2,9	1,11 3,3	0,69 2,1	0,48 1,4	0,11 0,3	5,48 16,4	0	0	0	Kg 0,41 % 1,2	Kg 14,13 % 42,3	4,39 13,2	33,38
23/07/2015 a 25/07/2015	91,43	Kg 1,72 % 9,4	Kg 0,38 % 2,1	0,59 3,2	2,3 12,5	2,3 5,4	1	0,59 3,2	0	2,56 13,9	0	0	0	Kg 0,87 % 4,7	Kg 6,67 % 36,3	1,7 9,2	18,38
31/07/2015	0,2	Kg 1,2 % 39,3	0,3 9,8	0	0,35 11,5	0,4 13,1	0	0	0	0,22 7,2	0	0	0	Kg 0 % 0,0	Kg 0,58 % 19,0	0 0,0	3,05
09/08/2015 a 10/08/2015	5,9	Kg 1,03 % 11,1	Kg 0,36 % 3,9	0,28 3,0	1,1 11,9	0,98 10,6	0	0	0	0,58 6,3	0	0	0	Kg 0 % 0,0	Kg 3,59 % 38,7	1,36 14,7	9,28
18/08/2015 a 19/08/2015	2,53	Kg 2,3 % 29,3	Kg 1,01 % 12,9	0	0,89 11,4	0,74 9,4	0	0,29 3,7	0,1 1,3	0,49 6,3	0	0	0	Kg 0,37 % 4,7	Kg 1,28 % 16,3	0,37 4,7	7,84
21/08/2015 a 22/08/2015	24,35	Kg 6,49 % 12,9	Kg 1,59 % 3,2	1,08 2,1	3,57 7,1	2,01 4,0	0,87 1,7	0,24 0,5	0,07 0,1	3,81 7,6	0	0	0	Kg 1,35 % 2,7	Kg 17,63 % 35,0	11,59 23,0	50,3
25/08/2015 a 26/08/2015	48,23	Kg 7,09 % 7,6	Kg 1,05 % 1,1	1,79 1,9	5,33 5,7	2,37 2,5	0,57 0,6	0,35 0,4	0	4,87 5,2	0	0	0	Kg 1 % 1,1	Kg 49,6 % 53,1	19,41 20,8	93,43
01/09/2015 a 03/09/2015	4,81	Kg 1,02 % 10,7	Kg 0,59 % 6,2	0,25 2,6	0,31 3,3	0,63 6,6	0	0,1 1,0	0	0,67 7,0	0	0	0	Kg 0 % 0,0	Kg 2,59 % 27,2	3,37 35,4	9,53
04/09/2015 a 06/09/2015	62,71	Kg 9,56 % 10,8	Kg 0,59 % 0,7	3,58 4,0	4,79 5,4	9,19 10,4	0,13 0,1	0	1	8,79 9,9	0	0	0	Kg 2 % 2,3	Kg 29,71 % 33,5	19,36 21,8	88,7
08/09/2015	14,99	Kg 5,87 % 25,1	Kg 1,67 % 7,1	0,69 3,0	1 4,3	0,49 2,1	0	0	0	4,87 20,8	0	0	0	Kg 0,99 % 4,2	Kg 6,78 % 29,0	1,01 4,3	23,37
10/09/2015 a 11/09/2015	17,77	Kg 1,59 % 9,9	Kg 0,67 % 4,2	1,3 8,1	2 12,5	0,15 0,9	0,26 1,6	0	0	3,49 21,8	0	0	0	Kg 0 % 0,0	Kg 4,91 % 30,6	1,66 10,4	16,03
16/09/2015 a 19/09/2015	70,61	Kg 6,37 % 7,1	Kg 2,09 % 2,3	0,87 1,0	3,57 4,0	5,69 6,4	0,13 0,1	1	0	6,98 7,8	0	0	0	Kg 0,87 % 1,0	Kg 54,91 % 61,6	6,73 7,5	89,21
24/09/2015 a 28/09/2015	109,23	Kg 8,46 % 9,7	Kg 1,67 % 1,9	2,4 2,8	3,95 4,5	1,48 1,7	4,17 4,8	0	0,87 1,0	9,47 10,9	0	0	0	Kg 0,81 % 0,9	Kg 37,87 % 43,4	16,09 18,4	87,24

30/09/2015 a 04/10/2015	26,66	Kg	4,39	0,81	1	2,64	1,09	0,87	1	0	7,89	Kg	1,01	11,64	4,37	36,71
		%	12,0	2,2	2,7	7,2	3,0	2,4	2,7	0,0	21,5	%	2,8	31,7	11,9	
06/10/2015 a 14/10/2015	80,93	Kg	13,67	4,36	2,57	8,67	7,09	0,97	0,81	0	11,69	Kg	1	49,17	17,92	117,92
		%	11,6	3,7	2,2	7,4	6,0	0,8	0,7	0,0	9,9	%	0,8	41,7	15,2	
16/10/2015	10,67	Kg	0,57	1	0,67	1,23	0,34	0,12	0,22	0	4,39	Kg	0	5,36	2,59	16,49
		%	3,5	6,1	4,1	7,5	2,1	0,7	1,3	0,0	26,6	%	0,0	32,5	15,7	
19/10/2015 a 22/10/2015	62,97	Kg	5,81	1,51	2,06	4,67	1,94	2,08	0,91	0	11,63	Kg	2,1	24,19	9,18	66,08
		%	8,8	2,3	3,1	7,1	2,9	3,1	1,4	0,0	17,6	%	3,2	36,6	13,9	
26/10/2015 a 30/10/2015	54,03	Kg	6,87	0,51	3,8	1,55	0,97	2	0,24	0,34	11,2	Kg	1,08	34,91	18,21	81,68
		%	8,4	0,6	4,7	1,9	1,2	2,4	0,3	0,4	13,7	%	1,3	42,7	22,3	
31/10/2015 a 03/11/2015	36,03	Kg	4,61	1,01	3,05	1,33	0,84	1	0,2	0	8,56	Kg	0,31	22,39	7,08	50,38
		%	9,2	2,0	6,1	2,6	1,7	2,0	0,4	0,0	17,0	%	0,6	44,4	14,1	
04/11/2015 a 06/11/2015	71,4	Kg	11,03	5,17	1,28	3,64	2,57	0,88	1,01	0,94	9,77	Kg	3,04	85,91	13,98	139,22
		%	7,9	3,7	0,9	2,6	1,8	0,6	0,7	0,7	7,0	%	2,2	61,7	10,0	
08/11/2015 a 11/11/2015	7,61	Kg	1,28	0,48	0,2	1	0,64	0	0	0	2,9	Kg	0	3	1,28	10,78
		%	11,9	4,5	1,9	9,3	5,9	0,0	0,0	0,0	26,9	%	0,0	27,8	11,9	
17/11/2015 a 19/11/2015	9,39	Kg	2,81	1,22	1	3,54	1,01	0,5	0	0	2,33	Kg	1	2,47	1,22	17,1
		%	16,4	7,1	5,8	20,7	5,9	2,9	0,0	0,0	13,6	%	5,8	14,4	7,1	
Total por residuo		Kg	162,48	42,36	43,54	75,13	58,08	32,22	13,11	3,74	152,44	Kg	23,63	757,74	226,25	1590,72
		%														

Apêndice B – Formulação matemática do modelo DS desenvolvido

Formulação matemática DS setor geração de resíduos sólidos	
Variável	Formulação matemática
População(t)=	$\text{População (t-dt) + (Nascimentos + migrações - Mortes - emigrações)*dt}$ INIT População =20001 {hab} INFLOWS: Nascimentos = Taxa nascimentos*População(t) Migrações = População*0,026 OUTFLOWS: Mortes = População*Taxa de mortes Emigrações = População*0,066
Taxa de mortes=	0,0846
Taxa de nascimentos=	0,138
Total RSU(t)=	$\text{Total RSU(t-dt) + (Geração RSU)* dt}$ INIT Total RSU = 740 {ton/ano} INFLOWS: Geração RSU= Aumento RSU per capita {ton/ano}
Aumento RSU per capita=	$\text{RSU Gerado + (Geração RSU \% per capita * RSU Gerado) \{ton/hab.ano\}}$
Geração RSU \% per capita=	0,0202
População Florianópolis=	453285 {hab}
RSU Gerado=	$\text{(População Florianópolis * RSU Gerados Florianópolis)/População Florianópolis \{ton/ano\}}$
RSU Gerados Florianópolis=	167636 {ton/ano}

Formulação matemática DS setor de poluição	
Variável	Formulação matemática
Carga de Poluição Acumulada=	$\text{Carga de Poluição Acumulada (t-dt) + (Carga de poluição)*dt}$ INT Carga de Poluição Acumulada = 0

{m³/km²/ano}

INFLOWS:

Cargas Poluentes =
(((0,001*P*PJ*RV*(Poluição Difusa +
Poluição Pontual) * Area Sub Bacia)))*0,843
{m³/km²/ano}

Area=	8,22+5,61 {km ² }
Area Sub Bacia=	Area {km ² (há)}
Area Impermeavel=	IF(Densidade Demográfica <= 120)THEN(0,489* Densidade Demográfica)ELSE(19,92883*LOGN(Densidade Demográfica)-36,72911){%}
Carga de Poluição Inicial=	(Volume mensal efluentes na rede pluvial / Concentração Tipica de ST no esgoto domestico) {mg}
Coefficiente de Escoamento=	0,047+0,9*(Area impermeável/100)
Coefficiente de Retorno	0,8
Consumo=	
Concentração do Poluente=	STotGPS * População % sem esgoto ou sem coleta * Densidade demográfica {ton/ha/ano}
Concentração ST no Esgoto Doméstico=	500 {mg/l}
Consumo De água percapita=	250 {l/hab.dia}
Densidade demográfica=	População Total/Area Sub Bacia {hab/ha}
Ligações % indevidas do Cloacal no Pluvial=	0,1
Medidas alternativas de combate poluição	1-0,7

Difusa=	
Medicas alternativas de combate	1-0,3
poluição	
Pontual=	
P=	Precipitação*Coeficiente de escoamento {mm}
PJ=	0,9
Poluição Difusa=	Concentração do poluente*Medidas alternativas de combate poluição difusa {ton/ha/ano}
Poluição Pontual=	(Carga de Poluição * 10 ⁻⁹)*Medidas alternativas de combate poluição pontual {ton/não}
População % com redes de esgotamento sanitário ou pluvial=	(Red % esgoto)/100
População % com coleta de resíduos=	(Red % coleta resíduos)/100
População % sem esgoto ou sem coleta=	1-(População % com redes de esgotamento sanitário ou pluvial*População % com coleta de resíduos)
População total=	População {hab}
Red % coletora resíduos=	98
Red % esgoto=	54
RV=	Coeficiente de escoamento (População total*População % com redes de esgotamento sanitário ou pluvial*Ligações % indevidas no cloacal no pluvial)*(Coeficiente retorno consumo*Consumo de água percapita) {litros}
Precipitação=	GRAPH (TIME) (1.00, 223), (2.00, 176), (3.00, 163), (4.00, 113), (5.00, 111), (6.00, 82,0), (7.00, 96.5), (8.00, 89.1), (9.00, 146), (10.0, 142), (11.0, 135), (12.0, 145)

Formulação matemática DS setor estimativa perda do solo - RUSLE

Variável	Formulação matemática
SGPS Tot(t) =	SGPS_Tot(t-dt) + (Fator A Perda do Solo)*dt INIT STotGPS = 0 {ton/ano} INFLOWS: Fator A Perda do solo = Fator R (t) * Fator K(t) * Fator LS(t) * Fator C(t) * Fator P(t) {ton/hab/ano}
Fator R(t) =	EI 30
EI 30=	(67.355*((Precipitação^2)/(Precipitação anual))^0.85) {(MJ.mm)/(ha.h)}
Precipitação anual=	1626 {mm}
Fator K(t) =	(0.00273*Materia*(10^-4)*(12- Ka))+0.00423*(Kb-2))+0.00325*(Kc-3) {(ton/MJ)/(mm/h)}
Matéria =	((SILTE_%+AREIA_%+AREIA_MUITO_FINA_ %)*(100-ARGILA_%)) ^ (1.14)
Silte%=	GRAPH (TIME) (2015, 39.0), (2018, 39.0), (2021, 39.0), (2025, 30.0), (2028, 42.0), (2031, 44.0), (2034, 39.0), (2037, 0.00), (2040, 18.0), (2044, 30.0), (2047, 0.00), (2050, 18.0)
Areia%=	GRAPH (TIME) (2015, 15.0), (2018, 15.0), (2021, 15.0), (2025, 6.00), (2028, 48.0), (2031, 26.0), (2034, 15.0), (2037, 0.00), (2040, 19.0), (2044, 6.00), (2047, 0.00), (2050, 19.0)
Areia muito fina%=	GRAPH (TIME) (2015, 15.0), (2018, 15.0), (2021, 15.0), (2025, 14.0), (2028, 7.00), (2031, 11.0), (2034, 15.0), (2037, 0.00), (2040, 54.0), (2044, 14.0), (2047, 0.00), (2050, 54.0)
Argila%=	GRAPH (TIME) (2015, 31.0), (2018, 31.0), (2021, 31.0), (2025, 50.0), (2028, 3.00), (2031, 19.0), (2034, 31.0), (2037, 0.00), (2040, 9.00), (2044, 50.0), (2047, 0.00), (2050, 9.00)

Ka=	GRAPH (TIME) (2015, 1.00), (2018, 1.00), (2021, 1.00), (2025, 3.50), (2028, 2.50), (2031, 10.0), (2034, 1.00), (2037, 0.00), (2040, 6.00), (2044, 3.50), (2047, 0.00), (2050, 6.00)
Kb=	GRAPH (TIME) (2015, 1.00), (2018, 1.00), (2021, 1.00), (2025, 2.00), (2028, 3.00), (2031, 2.00), (2034, 1.00), (2037, 0.00), (2040, 3.00), (2044, 2.00), (2047, 0.00), (2050, 3.00)
Kc=	GRAPH (TIME) (2015, 1.00), (2018, 1.00), (2021, 1.00), (2025, 5.00), (2028, 3.00), (2031, 5.00), (2034, 1.00), (2037, 0.00), (2040, 1.00), (2044, 5.00), (2047, 0.00), (2050, 1.00)
Fator LS(t) =	$0.00984 * (S^{1.18}) * (L^{0.63})$
S=	IF(TAN(DECLIVIDADE_RAMPA*0.01745)<0.09)THEN(10.8*SIN(DECLIVIDADE_RAMPA * 0.01745)+0.03) ELSE (16.8 * SIN(DECLIVIDADE_RAMPA* 0.01745) - 0.5)
Declividade Rampa=	GRAPH (TIME) (2015, 3.72), (2019, 13.1), (2024, 15.2), (2028, 19.6), (2033, 23.6), (2037, 29.1), (2041, 36.5), (2046, 59.1), (2050, 86.2)
L=	$(((\text{COMPRIMENTO_mt}+25)^{(m+1)}) - ((\text{COMPRIMENTO_mt})^{(m+1)})) / ((5^{(m+2)}) * (22.13^m))$
Comprimento=	GRAPH(TIME) (2015, 216), (2019, 937), (2024, 1874), (2028, 2882), (2033, 4684), (2037, 6053), (2041, 8287), (2046, 10088), (2050, 18375)
m=	$B/(1+B)$
B=	$((\text{SIN}(\text{DECLIVIDADE_ENCOSTA} * 0.01745) / 0.0896) / (3 * (\text{SIN}(\text{DECLIVIDADE_ENCOSTA} * 0.01745)^{0.8}) + 0.56))$
Declividade encosta=	GRAPH (TIME) (2015, 3.72), (2019, 13.1), (2024, 15.2), (2028, 19.6), (2033, 23.6), (2037, 29.1), (2041, 36.5),

	(2046, 59.1), (2050, 86.2)
Fator C(t) =	GRAPH (TIME) (1.00,0.001) (2.00,0.005) (3.00,0.01) (4.00,0.08) (5.00,0.1) (6.00,1.0) (7.00,1.3)
Fator P(t) =	GRAPH (TIME) (1.00,0.45) (2.00,0.25) (3.00,0.16) (4.00,0.10) (5.00,0.12) (6.00,0.10) (7.00,0.16)

Formulação matemática DS setor caracterização e quantificação de resíduos sólidos – material inorgânico

Variável	Formulação matemática
Resíduos inorgânicos=	Perigosos + Tecidos e isopor + Ambulatoriais e animais + Plástico + Papeis + Outros + Metais + Pneus e borrachas + Vidro
Ambulatoriais e animais=	GRAPH (TIME) (0.00, 0.00), (1.03, 0.00), (2.05, 0.00), (3.08, 0.12), (4.11, 0.00), (5.14, 0.00), (6.16, 0.00), (7.19, 0.00), (8.22, 0.00), (9.24, 0.00), (10.3, 0.00), (11.3, 0.00), (12.3, 0.00), (13.4, 0.19), (14.4, 0.00), (15.4, 0.00), (16.4, 0.11), (17.5, 0.00), (18.5, 0.00), (19.5, 0.00), (20.5, 0.1), (21.6, 0.07), (22.6, 0.00), (23.6, 0.00), (24.6, 1.00), (25.7, 0.00), (26.7, 0.00), (27.7, 0.00), (28.8, 0.87), (29.8, 0.00), (30.8, 0.00), (31.8, 0.00), (32.9, 0.00), (33.9, 0.34), (34.9, 0.00), (35.9, 0.94), (37.0, 0.00), (38.0, 0.00)
Metais=	GRAPH (TIME) (0.00, 0.02), (1.03, 0.55), (2.05, 0.43), (3.08, 0.65), (4.11, 0.78), (5.14, 0.89), (6.16, 2.16), (7.19, 0.36), (8.22, 1.77), (9.24, 0.94), (10.3, 0.58), (11.3, 0.00), (12.3, 0.38), (13.4, 0.95), (14.4, 0.34), (15.4, 2.76), (16.4, 0.76), (17.5, 0.38), (18.5, 0.3), (19.5, 0.36), (20.5, 1.01), (21.6, 1.59), (22.6, 1.05), (23.6, 0.59), (24.6, 0.59), (25.7, 1.67), (26.7, 0.67), (27.7, 2.09), (28.8, 1.67), (29.8, 0.81), (30.8, 4.36), (31.8, 1.00), (32.9, 1.51), (33.9, 0.51), (34.9, 1.01), (35.9, 5.17), (37.0, 0.48), (38.0, 1.22)
Outros=	GRAPH (TIME) (0.00, 0.00), (1.03, 0.83), (2.05, 0.00), (3.08, 4.76), (4.11, 1.99), (5.14, 2.87), (6.16, 6.24), (7.19, 1.09),

	(8.22, 1.17), (9.24, 2.77), (10.3, 0.88), (11.3, 0.00), (12.3, 0.1), (13.4, 0.93), (14.4, 1.58), (15.4, 4.59), (16.4, 5.48), (17.5, 2.56), (18.5, 0.22), (19.5, 0.58), (20.5, 0.49), (21.6, 3.81), (22.6, 4.87), (23.6, 0.67), (24.6, 8.79), (25.7, 4.87), (26.7, 3.49), (27.7, 6.98), (28.8, 9.47), (29.8, 7.89), (30.8, 11.7), (31.8, 4.39), (32.9, 11.6), (33.9, 11.2), (34.9, 8.56), (35.9, 9.77), (37.0, 2.90), (38.0, 2.33)
Papeis=	<p>GRAPH (TIME)</p> <p>(0.00, 0.04), (1.03, 0.3), (2.05, 0.78), (3.08, 0.46), (4.11, 0.97), (5.14, 0.25), (6.16, 0.00), (7.19, 0.38), (8.22, 7.31), (9.24, 0.00), (10.3, 0.8), (11.3, 0.1), (12.3, 0.00), (13.4, 0.56), (14.4, 0.89), (15.4, 2.51), (16.4, 1.11), (17.5, 1.00), (18.5, 0.4), (19.5, 0.98), (20.5, 0.74), (21.6, 2.01), (22.6, 2.37), (23.6, 0.63), (24.6, 9.19), (25.7, 0.49), (26.7, 0.15), (27.7, 5.69), (28.8, 1.48), (29.8, 1.09), (30.8, 7.09), (31.8, 0.34), (32.9, 1.94), (33.9, 0.97), (34.9, 0.84), (35.9, 2.57), (37.0, 0.64), (38.0, 1.01)</p>
Perigosos=	<p>GRAPH (TIME)</p> <p>(0.00, 0.00), (1.03, 0.00), (2.05, 0.58), (3.08, 0.67), (4.11, 0.88), (5.14, 0.00), (6.16, 1.41), (7.19, 0.6), (8.22, 0.51), (9.24, 0.00), (10.3, 0.00), (11.3, 0.00), (12.3, 0.00), (13.4, 0.83), (14.4, 0.00), (15.4, 0.78), (16.4, 0.48), (17.5, 0.00), (18.5, 0.00), (19.5, 0.00), (20.5, 0.29), (21.6, 0.24), (22.6, 0.35), (23.6, 0.1), (24.6, 0.00), (25.7, 0.00), (26.7, 0.00), (27.7, 1.00), (28.8, 0.00), (29.8, 1.00), (30.8, 0.81), (31.8, 0.22), (32.9, 0.91), (33.9, 0.24), (34.9, 0.2), (35.9, 1.01), (37.0, 0.00), (38.0, 0.00)</p>
Plástico=	<p>GRAPH (TIME)</p> <p>(0.00, 0.76), (1.03, 0.85), (2.05, 4.55), (3.08, 5.14), (4.11, 4.89), (5.14, 2.72), (6.16, 10.7), (7.19, 0.58), (8.22, 9.89), (9.24, 1.35), (10.3, 0.91), (11.3, 0.5), (12.3, 0.56), (13.4, 3.03), (14.4, 0.59), (15.4, 8.89), (16.4, 2.79), (17.5, 1.72), (18.5, 1.20), (19.5, 1.03), (20.5, 2.30), (21.6, 6.49), (22.6, 7.09), (23.6, 1.02), (24.6, 9.56), (25.7, 5.87), (26.7, 1.59), (27.7, 6.37), (28.8, 8.46), (29.8, 4.39), (30.8, 13.7), (31.8, 0.57),</p>

	(32.9, 5.81), (33.9, 6.87), (34.9, 4.61), (35.9, 11.0), (37.0, 1.28), (38.0, 2.81)
Pneus e borrachas=	GRAPH (TIME) (0.00, 0.00), (1.03, 0.00), (2.05, 0.54), (3.08, 0.78), (4.11, 1.26), (5.14, 0.00), (6.16, 1.83), (7.19, 0.02), (8.22, 8.99), (9.24, 1.56), (10.3, 0.00), (11.3, 0.00), (12.3, 0.00), (13.4, 1.00), (14.4, 0.00), (15.4, 0.41), (16.4, 0.69), (17.5, 0.59), (18.5, 0.00), (19.5, 0.00), (20.5, 0.00), (21.6, 0.87), (22.6, 0.57), (23.6, 0.00), (24.6, 0.13), (25.7, 0.00), (26.7, 0.26), (27.7, 0.13), (28.8, 4.17), (29.8, 0.87), (30.8, 0.97), (31.8, 0.12), (32.9, 2.08), (33.9, 2.00), (34.9, 1.00), (35.9, 0.88), (37.0, 0.00), (38.0, 0.5)
Tecidos e isopor=	GRAPH (TIME) (0.00, 0.26), (1.03, 0.31), (2.05, 1.03), (3.08, 1.44), (4.11, 1.36), (5.14, 1.07), (6.16, 1.59), (7.19, 0.2), (8.22, 2.42), (9.24, 1.38), (10.3, 0.79), (11.3, 0.13), (12.3, 0.28), (13.4, 1.15), (14.4, 0.28), (15.4, 3.04), (16.4, 0.97), (17.5, 2.30), (18.5, 0.35), (19.5, 1.10), (20.5, 0.89), (21.6, 3.57), (22.6, 5.33), (23.6, 0.31), (24.6, 4.79), (25.7, 1.00), (26.7, 2.00), (27.7, 3.57), (28.8, 3.95), (29.8, 2.64), (30.8, 8.67), (31.8, 1.23), (32.9, 4.67), (33.9, 1.55), (34.9, 1.33), (35.9, 3.64), (37.0, 1.00), (38.0, 3.54)
Vidro=	GRAPH (TIME) (0.00, 0.00), (1.03, 0.17), (2.05, 0.61), (3.08, 2.30), (4.11, 2.69), (5.14, 0.39), (6.16, 0.42), (7.19, 0.09), (8.22, 0.83), (9.24, 1.34), (10.3, 0.38), (11.3, 0.00), (12.3, 0.00), (13.4, 1.64), (14.4, 1.09), (15.4, 1.07), (16.4, 2.06), (17.5, 0.59), (18.5, 0.00), (19.5, 0.28), (20.5, 0.00), (21.6, 1.08), (22.6, 1.79), (23.6, 0.25), (24.6, 3.58), (25.7, 0.69), (26.7, 1.30), (27.7, 0.87), (28.8, 2.40), (29.8, 1.00), (30.8, 2.57), (31.8, 0.67), (32.9, 2.06), (33.9, 3.80), (34.9, 3.05), (35.9, 1.28), (37.0, 0.2), (38.0, 1.00)

Formulação matemática DS setor caracterização e quantificação de resíduos sólidos – material orgânico

Variável	Formulação matemática
Resíduos orgânicos=	Alimentos + Vegetação + Madeira
Alimentos=	GRAPH (TIME) (0.00, 0.00), (1.03, 0.00), (2.05, 0.00), (3.08, 0.00), (4.11, 0.31), (5.14, 0.28), (6.16, 2.10), (7.19, 0.00), (8.22, 0.00), (9.24, 0.00), (10.3, 0.00), (11.3, 0.00), (12.3, 0.00), (13.4, 0.77), (14.4, 0.00), (15.4, 1.96), (16.4, 0.41), (17.5, 0.87), (18.5, 0.00), (19.5, 0.00), (20.5, 0.37), (21.6, 1.35), (22.6, 1.00), (23.6, 0.00), (24.6, 2.00), (25.7, 0.99), (26.7, 0.00), (27.7, 0.87), (28.8, 0.81), (29.8, 1.01), (30.8, 1.00), (31.8, 0.00), (32.9, 2.10), (33.9, 1.08), (34.9, 0.31), (35.9, 3.04), (37.0, 0.00), (38.0, 1.00)
Madeira=	GRAPH (TIME) (0.00, 0.00), (1.03, 0.00), (2.05, 1.23), (3.08, 9.78), (4.11, 5.98), (5.14, 1.53), (6.16, 10.8), (7.19, 0.00), (8.22, 8.26), (9.24, 1.12), (10.3, 6.69), (11.3, 0.00), (12.3, 0.57), (13.4, 4.11), (14.4, 3.50), (15.4, 9.81), (16.4, 4.39), (17.5, 1.70), (18.5, 0.00), (19.5, 1.36), (20.5, 0.37), (21.6, 11.6), (22.6, 19.4), (23.6, 3.37), (24.6, 19.4), (25.7, 1.01), (26.7, 1.66), (27.7, 6.73), (28.8, 16.1), (29.8, 4.37), (30.8, 17.9), (31.8, 2.59), (32.9, 9.18), (33.9, 18.2), (34.9, 7.08), (35.9, 14.0), (37.0, 1.28), (38.0, 1.22)
Vegetação=	GRAPH (TIME) (0.00, 1.94), (1.03, 3.04), (2.05, 23.2), (3.08, 26.1), (4.11, 25.7), (5.14, 9.30), (6.16, 74.8), (7.19, 1.87), (8.22, 68.5), (9.24, 7.60), (10.3, 1.05), (11.3, 0.25), (12.3, 0.49), (13.4, 16.6), (14.4, 11.1), (15.4, 17.0), (16.4, 14.1), (17.5, 6.67), (18.5, 0.58), (19.5, 3.59), (20.5, 1.28), (21.6, 17.6), (22.6, 49.6), (23.6, 2.59), (24.6, 29.7), (25.7, 6.78), (26.7, 4.91), (27.7, 54.9), (28.8, 37.9), (29.8, 11.6), (30.8, 49.2), (31.8, 5.36), (32.9, 24.2), (33.9, 34.9), (34.9, 22.4), (35.9, 85.9), (37.0, 3.00), (38.0, 2.47)

Formulação matemática DS setor estimativa resíduos não coletados

Variável	Formulação matemática
Resíduos não coletados acumulado(t) =	Resíduos não coletados acumulado (t-dt) + (Resíduos coletados drenagem + Resíduos gerados população sem coleta) * dt INIT Resíduos não coletados acumulado = 0 {ton} INFLOWS: Resíduos coletados drenagem= Resíduos inorgânicos + Resíduos orgânico/1000 {ton} Resíduos gerados população sem coleta= Geração_RSU- (Geração_RSU*População_%_com_coleta_de_residuos) {ton/ano}
Resíduos não coletados=	Resíduos gerados população sem coleta - Resíduos coletados drenagem {ton}

Formulação matemática DS setor Sólidos Totais Gerados

Variável	Formulação matemática
Sólidos Totais Gerados =	Cargas poluentes + Resíduos Sólidos {m³/km²/ano}
Resíduos Sólidos=	(((Resíduos_não_coletados*12)/8)*0.843) {m³/ano}

Apêndice C – Valores gerados em cada setor após a simulação

Resultados setor geração de resíduos sólidos		
Anos	Geração RSU ton/ano	População
2015	7.546	20.001
2016	7.647	20.269
2017	7.750	20.541
2018	7.854	20.816
2019	7.959	21.095
2020	8.066	21.377
2021	8.174	21.664
2022	8.283	21.954
2023	8.394	22.248
2024	8.507	22.547
2025	8.621	22.849
2026	8.736	23.155
2027	8.853	23.465
2028	8.972	23.780
2029	9.092	24.098
2030	9.214	24.421
2031	9.337	24.748
2032	9.463	25.080
2033	9.589	25.416
2034	9.718	25.757
2035	9.848	26.102
2036	9.980	26.452
2037	10.114	26.806
2038	10.249	27.165
2039	10.387	27.529
2040	10.526	27.898
2041	10.667	28.272
2042	10.810	28.651
2043	10.955	29.035
2044	11.101	29.424
2045	11.250	29.818
2046	11.401	30.218
2047	11.554	30.622
2048	11.709	31.033
2049	11.865	31.449
2050	12.024	31.870

Resultados setor poluição

Anos	Volume efluente (l)	Carga Poluição inicial (mg/l)	Poluição Pontual (ton/ano)	Poluição Difusa (ton/km²/ano)	Cargas Poluentes (m³/km²/ano)
2015	216.011	432	0,075604	0	0
2016	218.905	438	0,076617	29	138
2017	221.839	444	0,077644	77	374
2018	224.811	450	0,078684	152	737
2019	227.824	456	0,079738	263	1.281
2020	230.877	462	0,080807	425	2.079
2021	233.970	468	0,08189	650	3.194
2022	237.106	474	0,082987	950	4.691
2023	240.283	481	0,084099	1.295	6.423
2024	243.503	487	0,085226	1.667	8.308
2025	246.766	494	0,086368	2.081	10.415
2026	250.072	500	0,087525	2.674	13.450
2027	253.423	507	0,088698	3.765	19.017
2028	256.819	514	0,089887	5.668	28.762
2029	260.260	521	0,091091	8.293	42.274
2030	263.748	527	0,092312	10.419	53.354
2031	267.282	535	0,093549	11.989	61.672
2032	270.864	542	0,094802	13.085	67.610
2033	274.493	549	0,096073	14.787	76.747
2034	278.171	556	0,09736	17.029	88.783
2035	281.899	564	0,098665	19.704	103.193
2036	285.676	571	0,099987	21.835	114.861
2037	289.504	579	0,101327	22.761	120.268
2038	293.384	587	0,102684	23.066	122.422
2039	297.315	595	0,10406	23.645	126.053
2040	301.299	603	0,105455	27.079	144.995
2041	305.337	611	0,106868	32.814	176.483
2042	309.428	619	0,1083	39.151	211.492
2043	313.574	627	0,109751	45.093	244.664
2044	317.776	636	0,111222	50.486	275.128
2045	322.035	644	0,112712	55.250	302.407
2046	326.350	653	0,114222	58.505	321.623
2047	330.723	661	0,115753	59.289	327.355
2048	335.155	670	0,117304	60.083	333.185

2049	339.646	679	0,118876	66.405	369.843
2050	344.197	688	0,120469	82.993	464.231

Resultados Setor RUSLE ton/ha/ano					
ANOS	Perda do solo	STotGPS	ANOS	Perda do solo	STotGPS
2015	4,14	0,00	2033	233,15	1.709,01
2016	6,94	4,14	2034	275,43	1.942,16
2017	10,37	11,08	2035	207,27	2.217,59
2018	15,19	21,45	2036	69,46	2.424,86
2019	21,76	36,64	2037	0,00	2.494,32
2020	29,71	58,39	2038	28,82	2.494,32
2021	39,01	88,10	2039	328,13	2.523,14
2022	43,86	127,11	2040	558,24	2.851,26
2023	46,24	170,97	2041	604,63	3.409,51
2024	50,28	217,21	2042	548,11	4.014,13
2025	71,81	267,49	2043	478,09	4.562,25
2026	131,98	339,30	2044	402,65	5.040,34
2027	228,88	471,28	2045	244,44	5.442,99
2028	310,73	700,16	2046	0,00	5.687,43
2029	242,40	1.010,89	2047	0,00	5.687,43
2030	169,80	1.253,29	2048	515,32	5.687,43
2031	109,48	1.423,09	2049	1.446,90	6.202,76
2032	176,43	1.532,57	2050	2.170,05	7.649,66

Resultados setor resíduos não coletados (ton)			
Eventos	Resíduos gerados população sem coleta	Resíduos coletados drenagem	Resíduos não coletados
1	151	0,00302	151
2	153	0,00597	153
3	155	0,03151	155
4	157	0,05063	157
5	159	0,04737	159

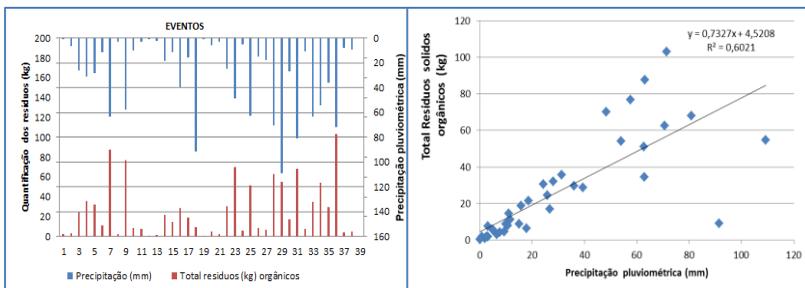
6	161	0,02292	161
7	163	0,09745	163
8	166	0,02488	166
9	168	0,08766	168
10	170	0,03976	170
11	172	0,01366	172
12	175	0,00419	175
13	177	0,00193	177
14	179	0,02171	179
15	182	0,02393	182
16	184	0,03959	184
17	187	0,04155	187
18	189	0,02509	189
19	192	0,01031	192
20	194	0,00617	194
21	197	0,00860	197
22	200	0,02683	200
23	202	0,06846	202
24	205	0,06031	205
25	208	0,03870	208
26	211	0,06635	210
27	213	0,02105	213
28	216	0,03721	216
29	219	0,08869	219
30	222	0,07527	222
31	225	0,05381	225
32	228	0,09923	228
33	231	0,02432	231
34	234	0,06813	234
35	237	0,07839	237
36	240	0,05739	240
37	244	0,13246	244
38	247	0,01095	247

Setor Sólidos Totais			
Anos	Cargas Poluentes (m³/km²/ano)	Resíduos Sólidos (m³/ano)	Sólidos Totais Gerados (m³/km²/ano)
2015	0	191	191
2016	138	193	331
2017	374	196	570
2018	737	199	936
2019	1.281	201	1.483
2020	2.079	204	2.283
2021	3.194	207	3.400
2022	4.691	209	4.900
2023	6.423	212	6.635
2024	8.308	215	8.523
2025	10.415	218	10.633
2026	13.450	221	13.670
2027	19.017	224	19.241
2028	28.762	227	28.989
2029	42.274	230	42.504
2030	53.354	233	53.587
2031	61.672	236	61.908
2032	67.610	239	67.849
2033	76.747	242	76.990
2034	88.783	246	89.029
2035	103.193	249	103.442
2036	114.861	252	115.113
2037	120.268	256	120.524
2038	122.422	259	122.681
2039	126.053	263	126.316
2040	144.995	266	145.261
2041	176.483	270	176.752

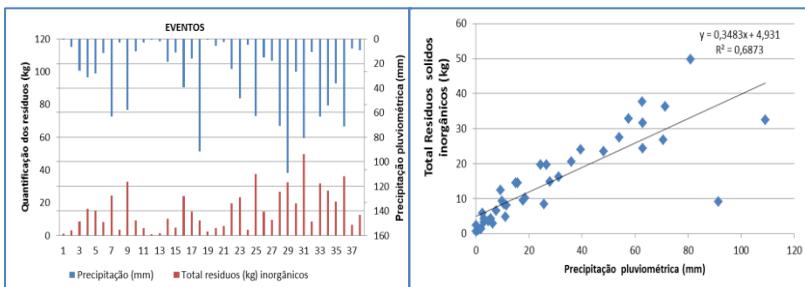
2042	211.492	273	211.766
2043	244.664	277	244.941
2044	275.128	281	275.409
2045	302.407	284	302.692
2046	321.623	288	321.911
2047	327.355	292	327.647
2048	333.185	296	333.481
2049	369.843	300	370.143
2050	464.231	304	464.535

Apêndice D – Correlação material retido em função dos eventos de precipitação.

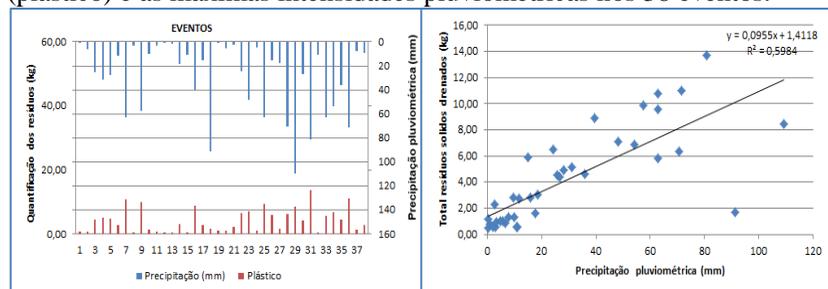
Correlação entre massa de resíduos sólidos orgânicos e a precipitação pluviométrica nos 38 eventos.



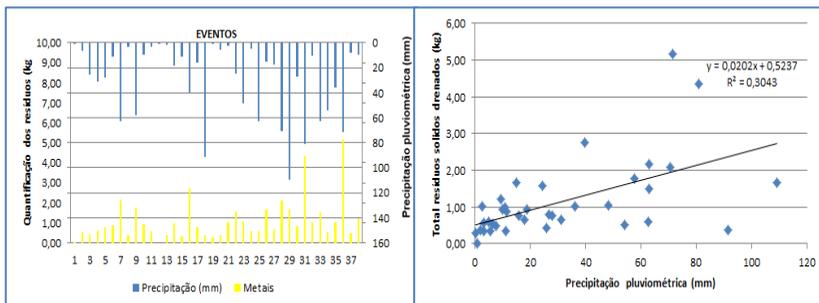
Correlação entre massa de resíduos sólidos inorgânicos transportados e a precipitação pluviométrica nos 38 eventos.



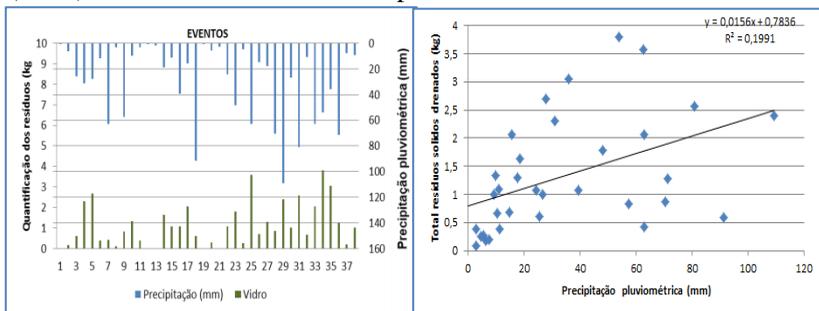
Correlação entre quantificação do resíduo de classificação vermelha (plástico) e as máximas intensidades pluviométricas nos 38 eventos.



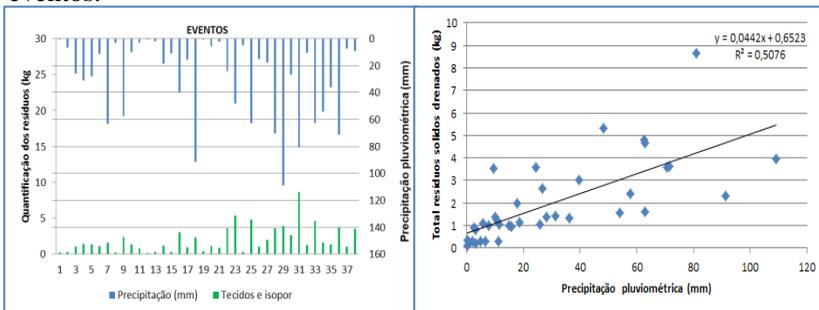
Correlação entre quantificação do resíduo de classificação amarelo (metal) e as máximas intensidades pluviométricas nos 38 eventos.



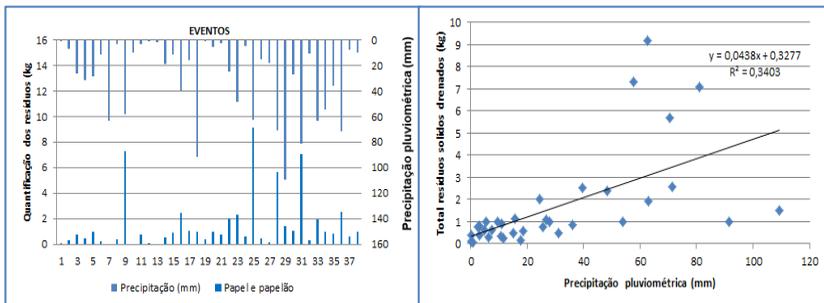
Correlação entre quantificação do resíduo de classificação verde A (vidro) e as máximas intensidades pluviométricas nos 38 eventos.



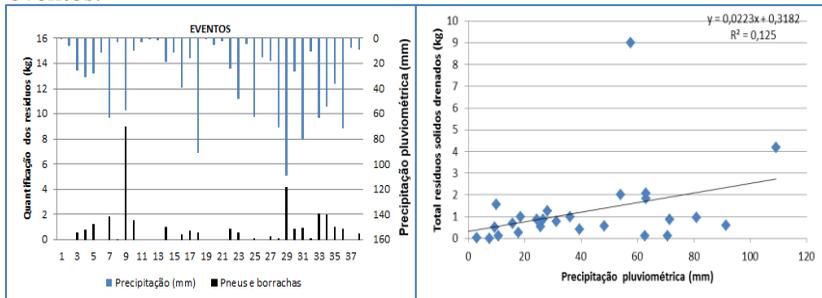
Correlação entre quantificação do resíduo de classificação verde B (tecidos e isopor) e as máximas intensidades pluviométricas nos 38 eventos.



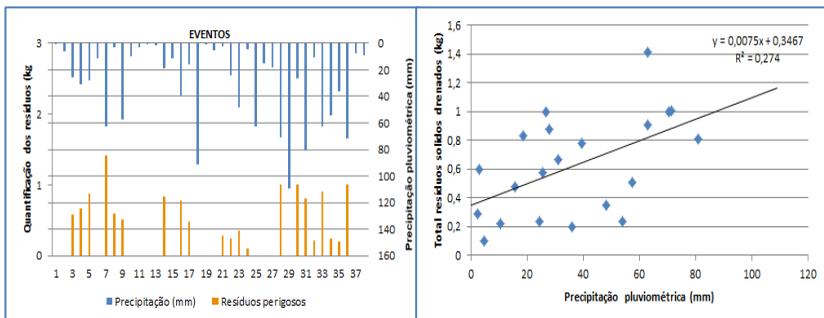
Correlação entre quantificação do resíduo de classificação azul (papel e papelão) e as máximas intensidades pluviométricas nos 38 eventos.



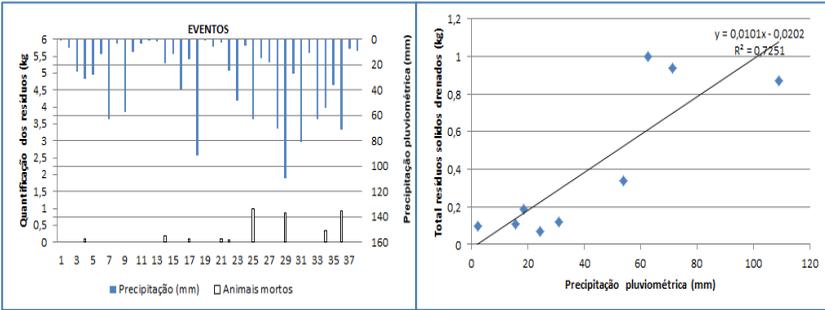
Correlação entre quantificação do resíduo de classificação preto B (pneus e borrachas) e as máximas intensidades pluviométricas nos 38 eventos.



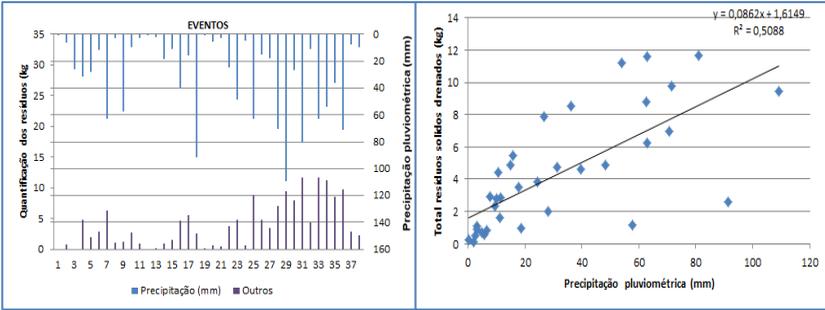
Correlação entre quantificação do resíduo de classificação laranja “perigosos” e as máximas intensidades pluviométricas nos 38 eventos.



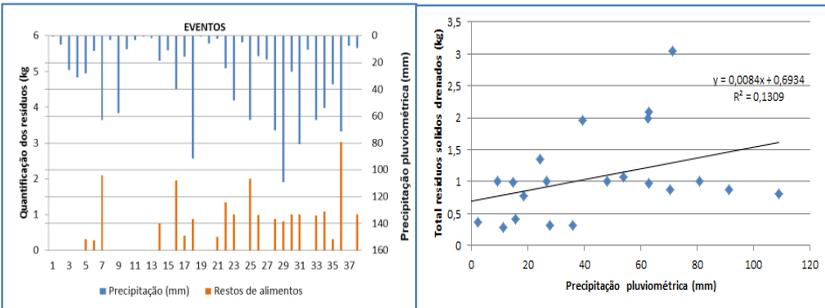
Correlação entre quantificação do resíduo de classificação branco “animais mortos” e as máximas intensidades pluviométricas durante nos 38 eventos.



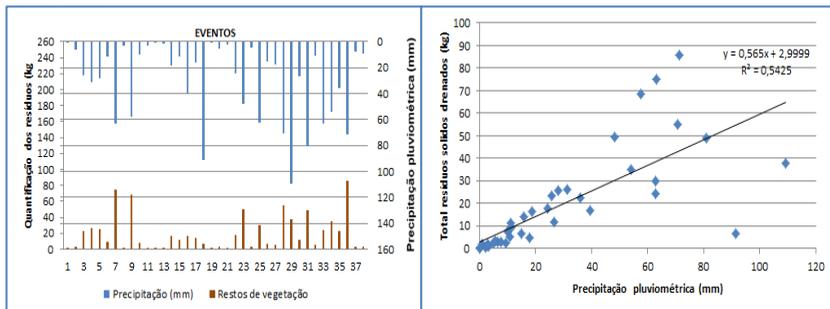
Correlação entre quantificação do resíduo de classificação “outros” e as máximas intensidades pluviométricas nos 38 eventos.



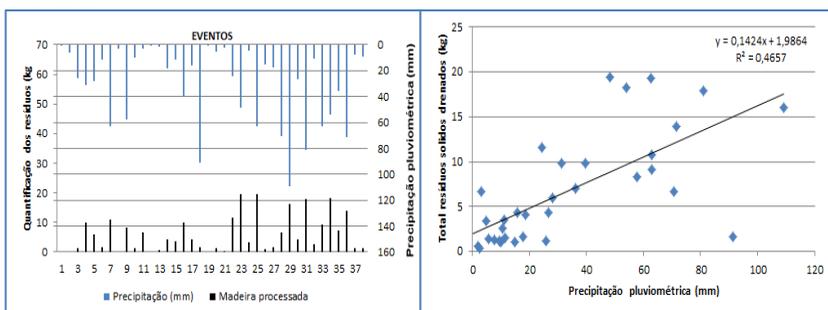
Correlação entre quantificação do resíduo de classificação marrom A (restos de alimentos) e as máximas intensidades pluviométricas nos 38 eventos.



Correlação entre quantificação do resíduo de classificação marrom B (restos de vegetação) e as máximas intensidades pluviométricas nos 38 eventos.



Correlação entre quantificação do resíduo de classificação preto A (madeira processada) e as máximas intensidades pluviométricas nos 38 eventos.



Apêndice E - Gráficos comparativos de correlação entre resíduos sólidos drenados e a precipitação total para diferentes bacias.

