



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

ESTIMATIVA PRELIMINAR DA POLUIÇÃO DIFUSA GERADA EM UMA ÁREA DE ESTUDO LOCALIZADA NA BACIA DO RIO IGUAÇU-SARAPUÍ

Mariana Ximenes de Magalhães
Morganna Werneck Capodeferro

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Jorge Henrique Alves Prodanoff

Rio de Janeiro
Setembro de 2016

ESTIMATIVA PRELIMINAR DA POLUIÇÃO DIFUSA GERADA EM
UMA ÁREA DE ESTUDO LOCALIZADA NA BACIA DO RIO
IGUAÇU-SARAPUÍ

Mariana Ximenes de Magalhães
Morganna Werneck Capodeferro

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE
ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Examinado por:

Prof. Jorge Henrique Alves Prodanoff, D.Sc.

Prof. José Paulo Soares de Azevedo, Ph.D.

Prof. Paulo Renato Diniz Junqueira Barbosa, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
SETEMBRO DE 2016

Magalhães, Mariana Ximenes de
Capodeferro, Morganna Werneck

Título: Estimativa Preliminar da Poluição Difusa Gerada em uma Área de Estudo Localizada na Bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí/ Mariana Ximenes de Magalhães/Morganna Werneck Capodeferro – Rio de Janeiro: UFRJ/ESCOLA POLITÉCNICA, 2016.

XIII , 84 p.: il.; 51; 29,7 cm.

Orientador: Jorge Henrique Alves Prodanoff

Projeto de Graduação – UFRJ/Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Ambiental, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 75-77.

1. Poluição Difusa Urbana. 2. Modelos de Regressão Múltipla. 3. Bacia do rio Iguaçu-Sarapuí. I. Prodanoff, Jorge. II. UFRJ, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Ambiental. III. Estimativa Preliminar da Poluição Difusa Gerada em uma Área de Estudo Localizada na Bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais, Viviane e Dercival, por todo carinho e apoio ao longo da minha graduação. Obrigada pela força e coragem que me transmitiram para que eu pudesse concluir mais esta etapa. E acima de tudo por todos os valores e ensinamentos.

Agradeço aos professores da Engenharia Ambiental por todos os conhecimentos passados e por nutrirem o meu desejo de ingressar futuramente no curso de Mestrado. Em especial, meu muito obrigada ao nosso orientador, professor Prodanoff, pela confiança depositada e por todo suporte ao longo da execução do trabalho.

À minha parceira, Mariana Ximenes, por todos os anos de estudo juntas, todos os trabalhos e por aceitar enfrentar ao meu lado mais este desafio: a elaboração do Projeto Final. Nosso esforço conjunto e nossa sintonia tornaram a graduação muito mais leve e proveitosa.

Ao IVIG, onde sou estagiária e onde pude acompanhar o desenvolvimento de projetos de pesquisa. Especialmente à equipe de tecnologias na qual trabalho, que me proporcionou grandes aprendizados e contribuiu profundamente para a minha formação pessoal e profissional.

Por fim, a todos os meus amigos, sem vocês seria impossível. Obrigada pelas risadas, pelos momentos de descontração e principalmente pelo incentivo.

Morganna

AGRADECIMENTOS

A meus pais, Carlos e Ana, pelo amor, carinho e incentivo. Agradeço por proporcionarem suporte total para que eu pudesse atingir meus objetivos. Vocês são meus exemplos de dignidade e disposição. Ao meu irmão Rafael e toda à família. Essa conquista é nossa.

Ao meu querido R. Lucas, amigo e companheiro, meu estímulo e amparo. Obrigada por ser tão tolerante e compreensivo, leal e dedicado. Nossa história está apenas começando.

Às amigas que Santo Agostinho me enviou, Marina S., Maria Eduarda, Maria Beatriz, Marina G., Nasle e, é claro, Morganna Werneck. Obrigada, Morganna, por todo companheirismo e troca de conhecimentos. Nosso projeto final é apenas mais uma prova do êxito da nossa parceria nesses anos de UFRJ.

Aos amigos e professores da Engenharia Ambiental e, particularmente, ao nosso orientador, professor Prodanoff, que gentilmente agradeceu-nos com seu tempo, sabedoria e dedicação. Sou grata pela assistência e confiança.

Mariana

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Estimativa Preliminar da Poluição Difusa Gerada em uma Área de Estudo Localizada na Bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí

Mariana Ximenes de Magalhães
Morganna Werneck Capodeferro

Setembro/2016

Orientador: Jorge Henrique Alves Prodanoff

Curso: Engenharia Ambiental

Em meios urbanos, a poluição difusa contribui significativamente para a alteração da qualidade dos corpos hídricos. As águas pluviais carregam consigo poluentes – sólidos, nutrientes e poluentes inorgânicos – distribuídos de forma esparsa sobre a superfície urbanizada. Dentre as origens das cargas difusas pode-se citar: a deposição atmosférica; o desgaste dos pavimentos; o acúmulo de resíduos nas ruas; a erosão e os derramamentos químicos de efluentes oleosos vindos de veículos e oficinas mecânicas, por exemplo. Diferentemente da poluição pontual, a difusa é de mais difícil quantificação, uma vez que depende de diversos fatores como as formas de uso e ocupação do solo e a intensidade das precipitações. Dessa forma, a concentração dos poluentes nos escoamentos varia entre bacias hidrográficas e a cada evento chuvoso. Este trabalho tem como objetivo realizar uma estimativa preliminar do volume de escoamento superficial e das cargas de poluentes associados a ele. Para essa quantificação foram utilizados modelos regressivos múltiplos com base em características físicas, de uso do solo e climáticas da região estudada. Foi selecionada para análise uma área urbana, com dimensões que caracterizam uma pequena bacia hidrográfica, localizada no município de Nova Iguaçu. A área escolhida pertence à bacia do rio Iguaçu-Sarapuí, região altamente modificada e degradada pela ocupação antrópica.

Palavras-chave: Poluição Difusa Urbana, Modelos de regressão múltipla de Driver e Tasker, Bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

Preliminary Estimate of Diffuse Pollution Generated in a Studied Area Located in
Iguaçu-Sarapuí Basin

Mariana Ximenes de Magalhães
Morganna Werneck Capodeferro

September/2016

Advisor: Jorge Henrique Alves Prodanoff

Course: Environmental Engineering

In urban areas, storm-runoff is a substantial source of water pollution as they transport pollutants – solid, nutrients and inorganic pollutants - sparsely distributed on the urban surface. The sources of diffuse loads can be: atmospheric deposition; pavement wear; accumulation of trash on streets; erosion and chemical spills of oily waste from vehicles and mechanical workshops, for example. Unlike point source pollution, the diffuse pollution is more difficult to quantify, as it depends on several factors like the forms of land use and occupation and intensity of rainfall. Thus, storm-runoff concentration of pollutants varies between watersheds and at each rain event.

This study aims to conduct a preliminary estimate of runoff volume and its pollutant loads. This quantification was based on multiple regressive models and physical, land use and climatic characteristics of the studied region. An urban area located in Nova Iguaçu, which dimensions characterize a small watershed, was selected. The chosen area belongs to the Iguaçu-Sarapuí basin, a highly degraded and modified area by human occupation.

Keywords: Urban Diffuse Pollution, Multiple Regression Models by Driver and Tasker, The Iguaçu-Sarapuí basin.

ÍNDICE

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	3
2	Conceitos e Noções Básicas	4
2.1	Água na Natureza.....	4
2.2	Parâmetros de Qualidade das Águas	5
2.2.1	Cor e Turbidez.....	6
2.2.2	Nitrogênio.....	6
2.2.3	Fósforo	7
2.2.4	Matéria Orgânica	8
2.2.5	Micropoluentes Inorgânicos	8
2.3	Impactos da Urbanização sobre uma Bacia Hidrográfica.....	9
2.4	Poluição Difusa de Origem Pluvial	12
2.5	Fontes Potenciais de Poluentes Carreados Pelos Escoamentos Superficiais em Meio Urbano	14
2.5.1	Deposição Atmosférica.....	14
2.5.2	Acumulação de Poluentes nas Superfícies Urbanas.....	15
2.5.3	Derramamentos Químicos.....	17
2.5.4	Erosão.....	18
2.6	Impactos Causados pelas Cargas Difusas Sobre a Qualidade do Corpo Hídrico	19
2.7	O Controle da Poluição Difusa.....	21
2.7.1	Controle à Montante e à Jusante	22
2.7.2	Técnicas Estruturais e Não Estruturais	22
2.7.3	Infraestrutura Verde Urbana	23
2.7.3.1	Sistemas de Biorretenção.....	24
2.7.3.2	Lagoas Pluviais	27
2.7.3.3	Lagoas Secas ou de Detenção	29
2.7.3.4	Pavimentos Porosos ou Permeáveis	31
2.7.3.5	Telhado Verde	32
3	Caracterização da Bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí	34
3.1	Física.....	34
3.2	Demográfica e Social dos Municípios	49
4	Método da Regressão Múltipla de DRIVER e TASKER para Avaliação Quantitativa da Poluição Difusa	52
5	Estudo de Caso	58
5.1	Identificação da Área de Estudo	58

5.2	Variáveis Explicativas	59
5.2.1	Físicas e de Uso do Solo.....	59
5.2.2	Climáticas.....	61
5.3	Resultados e Discussões.....	66
5.4	Propostas	68
6	Considerações Finais	73
7	Referências Bibliográficas	75
ANEXO I	78
ANEXO II	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição da água na Terra e distribuição da água doce no mundo.	4
Figura 2. Alterações hidrológicas devido à urbanização.....	10
Figura 3. Relação entre área impermeável e o coeficiente de <i>runoff</i>	10
Figura 4. Desenvolvimento urbano e cheias urbanas.....	11
Figura 5. Efeitos da urbanização.....	12
Figura 6. Emissão de gases na REDUC	15
Figura 7. Principais processos responsáveis pelo acúmulo de poluentes nas ruas.	15
Figura 8. Acúmulo de lixo em Duque de Caxias.....	16
Figura 9. Acúmulo de resíduo oleoso vindo de uma oficina mecânica na rua Terezinha Pinto, em Nova Iguaçu.....	18
Figura 10. Rua após chuva intensa em Duque de Caxias em fevereiro de 2016.....	19
Figura 11. Escala de tempo para ocorrência dos problemas causados pelo lançamento da drenagem urbana	20
Figura 12. Jardins de chuva	25
Figura 13. Canteiros pluviais.....	26
Figura 14. Biovaletas	27
Figura 15. Lagoas pluviais em: a) Wilsonville, Oregon (EUA) b) Seattle, Washington (EUA).....	28
Figura 16. Bacias de retenção.....	30
Figura 17. a) Pavimento intertravado poroso e b) pisograma ou concregrama.....	31
Figura 18. Telhados verdes em: a) Recife e b) São Paulo	33
Figura 19. Bacia hidrográfica do rio Iguaçu-Sarapuí.....	36
Figura 20. Distribuição das formas de uso e ocupação do solo na bacia do rio Iguaçu-Sarapuí.....	38
Figura 21. Pontos selecionados para análise de imagens.....	40
Figura 22. Ponto 1: Rua Iolanda, Nova Iguaçu.....	41
Figura 23. Ponto 2: Rua Otávio Moreira de Melo, Nova Iguaçu.....	42
Figura 24. Ponto 10: Rua Lages Brandão, Belford Roxo.....	42
Figura 25. Ponto 11: Rua Natividade, Nilópolis	43
Figura 26. Ponto 13: Estrada Aníbal da Mota, Belford Roxo	44
Figura 27. Ponto 14: Rua Benjamin Pinto Dias, Belford Roxo	44
Figura 28. Polígono representativo da área urbana de média-alta densidade para estimativa da porcentagem de impermeabilização do solo no município de Nova Iguaçu.....	45

Figura 29. Polígono representativo da área urbana de baixa densidade para estimativa da porcentagem de impermeabilização do solo no município de Duque de Caxias. ...	46
Figura 30. Área impermeável (%) X densidade populacional (pessoas/ha). A curva tracejada reflete a atualização da relação para a cidade de Porto Alegre.	48
Figura 31. Área de estudo delimitada.....	59
Figura 32. Demarcação das áreas consideradas permeáveis para estimativa da porcentagem de impermeabilização do solo na região de estudo.....	60
Figura 33. Deposição úmida de nitrogênio em kg/ha.ano.....	63
Figura 34. Gráfico das normais climatológicas da cidade do Rio de Janeiro.	64
Figura 35. Solução proposta para área de estudo.....	68
Figura 36. Representação esquemática da proposta	70
Figura 37. Representação esquemática do fluxo do escoamento	71
Figura 38. Áreas potenciais para construção de bacias de retenção.....	72
Figura 39. Ponto 3: Rua Leonel Gouvêia, Nova Iguaçu.....	78
Figura 40. Ponto 4: Rua Jacutinga, Nova Iguaçu	78
Figura 41. Ponto 5: Rua Ernesto Regattieri, Nova Iguaçu	79
Figura 42. Ponto 6: Avenida Monte Líbano, Nova Iguaçu	79
Figura 43. Ponto 7: Rua Danilo, Belford Roxo.....	80
Figura 44. Ponto 8: Avenida Joaquim da Costa Lima, Belford Roxo	80
Figura 45. Ponto 9: Rua Padre Viêira, São João de Meriti	81
Figura 46. Ponto 12: Av. Francisco Faleiro de Freitas Lima, Duque de Caxias	81
Figura 47. Ponto 15: Rua Antônio Rodrigues Oliveira, Mesquita.....	82
Figura 48. Ponto 16: Rua Nair, São João de Meriti	82
Figura 49. Rua Lider, Nova Iguaçu.....	83
Figura 50. Rua Gonçalves Dias, Nova Iguaçu.....	83
Figura 51. Rua Santa Luzia, Nova Iguaçu.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Representatividade das classes de uso do solo da bacia do rio Iguaçu-Sarapuí.....	39
Tabela 2. Pontos selecionados para análise de imagens	41
Tabela 3. Dados demográficos dos municípios que ocupam a bacia do rio Iguaçu-Sarapuí.....	49
Tabela 4. Índices de atendimento aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário.....	49
Tabela 5. Taxas de cobertura do serviço de coleta domiciliar em relação à população urbana	51
Tabela 6. Variáveis explicativas utilizadas nos modelos de regressão linear para estimativa da carga de poluentes nos escoamentos urbanos	53
Tabela 7. Coeficientes de regressão e fatores de conversão de unidades a serem aplicados nos modelos de regressão para volume e carga de poluentes.....	55
Tabela 8. Dados de entrada relativos à área de estudo.....	65
Tabela 9. Faixa de valores das variáveis explicativas (em unidades inglesas)	65
Tabela 10. Dados de resposta relativos à área de estudo.	67

LISTA DE NOMENCLATURA

BCF – Fator de correção
BMPs – *Best Management Practices*
CD - Cádmio recuperável total
CU - Cobre recuperável total
DA – Área de Drenagem
DBO – Demanda bioquímica de oxigênio
DP – Densidade populacional
DQO – Demanda química de oxigênio
DRN – Duração do evento
EPA – *US Environmental Protectional Agency*
ESD – Escoamento superficial direto
ft³ – pés cúbicos
GAW – *Global Atmosphere Watch*
HPA's – Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
 HPO_4^{2-} – Hidrogenofosfato
 $H_2PO_4^-$ – Di-hidrogenofosfato
 H_3PO_4 – Ácido fosfórico
IA – Área impermeável
INT – Intensidade máxima da precipitação de 24 hs com tempo de retorno de 2 anos
lbs – libras
LUC – Uso do solo comercial
LUI – Uso do solo industrial
LUN – Uso do solo não urbano
LUR – Uso do solo residencial
MAR – Precipitação média anual
MJT – Temperatura média mínima do mês de janeiro
MNL – Carga média anual de Nitrogênio na precipitação
N₂ – Nitrogênio molecular
NH₃ – Amônia forma livre
 NH_4^+ – Amônia ionizada
 NO_2^- – Nitrito
 NO_3^- – Nitrato
NT – Nitrogênio total
NKT – Nitrogênio Kjeldahl total
O₂ – Oxigênio
PB – Chumbo recuperável total
PCB's – Bifenilas policloradas
PD – Fósforo dissolvido
PDBG – Programa de despoluição da Baía de Guanabara
 PO_4^{3-} – Fosfato
PT – Fósforo Total
R² – Coeficiente de determinação múltipla
REDUC – Refinaria de Duque de Caxias
RUN – Volume de *Runoff*
SAG – PC – *Scientific Analysis Group for Precipitation Chemistry*
SD – Sólidos dissolvidos
SR – Sensoriamento remoto
SS – Sólidos em suspensão
TRN – Total precipitado por evento
UC – Unidade de conservação
WMO – *World Meteorological Organization*
ZN – Zinco recuperável total

1 Introdução

O desenvolvimento industrial e o vertiginoso crescimento populacional intensificaram a exploração dos recursos naturais e o processo de degradação ambiental. Atualmente, as populações dos grandes centros urbanos enfrentam problemas não apenas relacionados à oferta reduzida de água, mas, sobretudo à escassez qualitativa da água. A concentração populacional resulta na maior produção de resíduos que associada à ineficiência dos serviços de saneamento básico contribui para o aumento da poluição ambiental. Paralelamente, o crescimento desordenado das cidades é também responsável pela deterioração da qualidade das águas, na medida em que a expansão da cobertura impermeável acarreta no aumento e aceleração dos escoamentos superficiais que carregam consigo poluentes, depositados nos cursos d'água.

De modo geral, os agentes poluidores podem atingir o corpo d'água de forma pontual ou difusa. As fontes pontuais são oriundas de ações localizadas e caracterizam-se por uma descarga concentrada em um ponto, como o lançamento de esgotos domésticos ou industriais. Já a poluição difusa alcança o corpo d'água de forma distribuída ao longo da sua extensão, como a drenagem pluvial urbana e o aporte de agrotóxicos e fertilizantes utilizados em culturas agrícolas. Em áreas urbanas, as águas pluviais constituem fontes de poluição significativas quanto maior a deficiência da coleta de esgotos e da limpeza pública, enquanto nas áreas rurais a poluição difusa é devida à drenagem de solos agrícolas, portanto associada a sedimentos, nutrientes e defensivos agrícolas.

A universalização dos serviços de saneamento básico ainda é um desafio para o Brasil. Índices revelam que, em 2010, 35% da população contava com soluções inadequadas¹ para o afastamento de seus esgotos, enquanto que do percentual atendido por redes coletoras apenas metade recebia algum tipo de tratamento (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2014). Tal cenário associado ao fato de que as fontes pontuais são mais facilmente identificadas e controladas pode vir a justificar a maior atenção que tem sido dada ao controle dessa forma de poluição. Apesar de importantes modificadores da qualidade das águas, as fontes de poluição difusa têm sido sistematicamente esquecidas e relegadas a segundo plano.

A poluição por cargas difusas pode ter início com o arraste dos poluentes atmosféricos pela chuva que ao atingir a superfície escoam e transporta consigo os poluentes dispostos sobre o solo até o lançamento final no corpo receptor. Esse

¹ Categoria em que estão incluídos os domicílios sem banheiro ou sanitário e o lançamento de esgoto em fossas rudimentares, corpos d'água ou outro escoadouro.

processo, portanto, tem origem no ciclo hidrológico e é um fenômeno aleatório como o evento responsável pela sua ocorrência (PRODANOFF, 2005). Ainda, a poluição difusa é de difícil quantificação, uma vez que depende de diversos fatores, como a intensidade e duração das precipitações; o tipo de solo; a topografia do terreno e os usos do solo.

Como forma de contornar as dificuldades que permeiam a quantificação da poluição difusa, foram desenvolvidos nos Estados Unidos, métodos empíricos para estimar a magnitude das cargas de poluentes carregados nos escoamentos superficiais em bacias hidrográficas urbanizadas. Diante da ausência de dados de medição direta, tais métodos podem ser utilizados com o propósito de realizar estimativas e dar suporte ao planejamento de ações de controle da poluição difusa. Este trabalho tem como objetivo quantificar o volume e a carga de poluentes nos escoamentos superficiais gerados em uma área de estudo no município de Nova Iguaçu, através da utilização de modelos regressivos. Vale destacar que os resultados do presente trabalho constituem apenas uma análise preliminar, uma vez que são utilizados coeficientes regressivos desenvolvidos para bacias urbanizadas americanas, dada a ausência de um modelo regional aplicável.

O estudo concentrou-se em uma área pertencente à bacia do rio Iguaçu-Sarapuí, que está localizada na porção oeste da rede hidrográfica da Baía de Guanabara e que constitui uma área crítica em relação à degradação ambiental. A área de drenagem da bacia abrange totalmente os municípios de Belford Roxo e Mesquita e parte dos municípios do Rio de Janeiro; Nilópolis; São João de Meriti; Nova Iguaçu e Duque de Caxias, todos integrantes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

O histórico de degradação da área de drenagem da bacia pode ser atribuído à alta concentração industrial e, sobretudo à refinaria de petróleo de Duque de Caxias (REDUC), localizada na margem esquerda do rio Iguaçu e que atualmente ocupa grande parte da área de ocorrência natural do primitivo manguezal. Destaca-se que muitas das indústrias da região foram consideradas prioritárias para o Programa de Despoluição da Baía de Guanabara (PDBG²) devido ao desenvolvimento de atividades potencialmente poluidoras. Junto à foz, está localizado o antigo lixão de Gramacho, que recebia os resíduos de cinco municípios da Baixada Fluminense até o encerramento de sua operação em 2012, e que atualmente constitui um grande

² O PDBG foi concebido no início da década de 90, para elevar as condições sanitárias e ambientais da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, com impacto positivo na qualidade de vida da população local, tendo como via de consequência a despoluição da Baía de Guanabara e áreas adjacentes.

passivo ambiental. Adicionalmente, grande parte da população residente não é atendida adequadamente pelos serviços de saneamento, principalmente de esgotos e de coleta de resíduos.

No presente trabalho será realizada uma contextualização acerca da poluição difusa de origem pluvial, desde a origem dos poluentes carreados até as formas mais comuns de controle (**Capítulo 2**). Após a caracterização física e demográfica da bacia do rio Iguaçu-Sarapuí, destaque especial será dado para as formas de uso e ocupação do solo e para a impermeabilização da superfície, fatores essenciais para análise dos escoamentos produzidos em uma dada área (**Capítulo 3**). A partir da utilização de modelos regressivos (**Capítulo 4**) segue uma avaliação quantitativa da poluição difusa produzida na região estudada e a proposição de medida de controle (**Capítulo 5**). E, por fim, as considerações finais do estudo encontram-se no **Capítulo 6**.

1.1 Objetivos

O objetivo geral do presente trabalho é realizar estimativas preliminares do volume e das cargas de poluentes carreados nos escoamentos superficiais gerados em uma determinada área no município de Nova Iguaçu, localizado na bacia do rio Iguaçu-Sarapuí. Tal quantificação é feita através da utilização de modelos de regressão múltipla desenvolvidos por DRIVER e TASKER (1990) com base em características físicas, de uso do solo e climáticas.

Dentre os objetivos específicos destacam-se:

- Abordar as águas pluviais como fonte de introdução de agentes poluentes nos corpos d'água;
- Estimar o volume de escoamento superficial gerado por um evento de precipitação efetiva de meia polegada;
- Estimar as cargas de DQO; sólidos suspensos; nitrogênio total; NKT; fósforo total e dissolvido; cobre recuperável total; chumbo recuperável total e zinco recuperável total presentes no escoamento;
- Propor solução local para o controle da poluição difusa; e
- Discutir a importância da implantação de sistemas de monitoramento das águas pluviais e do desenvolvimento de modelos regionais.

2 Conceitos e Noções Básicas

2.1 Água na Natureza

Estima-se que o volume total de água existente no planeta seja de 1.386.000 m³ distribuídos conforme apresentado na **Figura 1**.

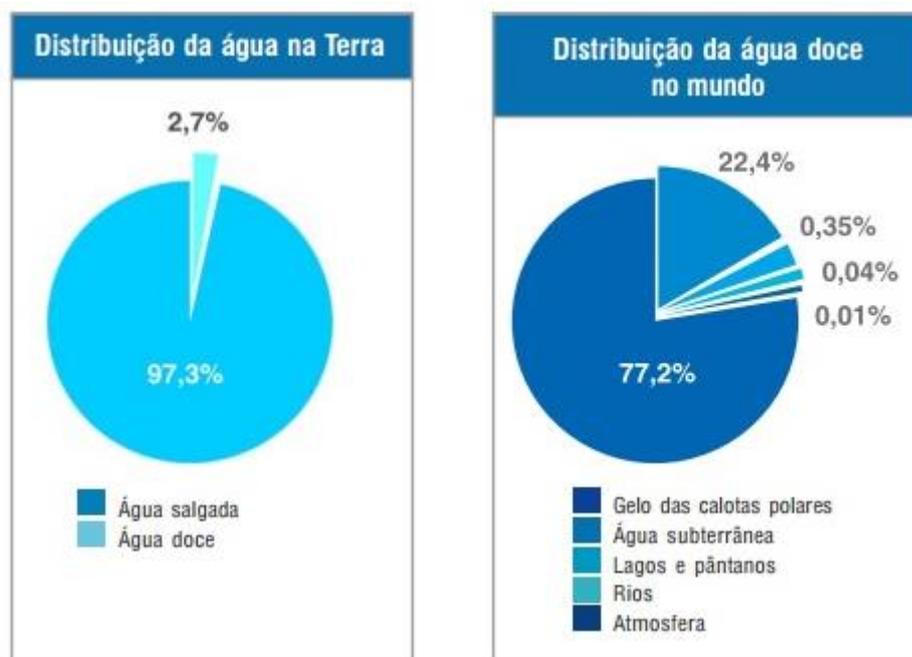


Figura 1. Distribuição da água na Terra e distribuição da água doce no mundo.
Fonte: VIEIRA, COSTA, BARRÉTO (2006)

A água de fácil acesso encontrada nos rios, lagos e represas representa uma parcela ínfima do total de água doce do planeta, o que ressalta a grande importância de se preservarem os recursos hídricos na Terra, e de se evitar a contaminação da pequena fração disponível (VON SPERLING, 2005).

Os recursos hídricos superficiais no Brasil representam 50% do total dos recursos da América do Sul e 11% dos recursos mundiais, totalizando 168.870 m³/s (CUTOLO, 2009). No entanto, a distribuição desses recursos não é uniforme geograficamente, a exemplo das limitações de disponibilidades no Nordeste e dos excessos de água na Amazônia.

Os mecanismos de transferência da água de um meio para outro na Terra constituem o denominado ciclo hidrológico. A água é considerada, portanto, um recurso natural renovável por meio do ciclo hidrológico.

A precipitação compreende toda a água que cai da atmosfera na superfície da Terra. Após atingir a superfície, a água tem dois caminhos por onde seguir: escoar na superfície ou infiltrar no solo. O escoamento superficial é responsável pelo deslocamento da água sobre o terreno, formando córregos, lagos e rios e

eventualmente atingindo o mar. A infiltração, por sua vez, corresponde à água que atinge o solo, formando os lençóis d'água. O escoamento subterrâneo é responsável pela recarga dos corpos d'água superficiais, especialmente nos períodos secos.

A transferência da água para o meio atmosférico se dá através de dois principais mecanismos, conjuntamente denominados de evapotranspiração, a saber: a evaporação e a transpiração. A evaporação consiste na transferência da água superficial do estado líquido para o gasoso e depende da temperatura e da umidade relativa do ar. Já a transpiração compreende a perda de água na forma de vapor através das folhas.

2.2 Parâmetros de Qualidade das Águas

A Lei 6.938/81 dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

Art. 3º - Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por :

III – poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;*
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;*
- c) afetem desfavoravelmente a biota;*
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente*
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.*

A poluição das águas pode ainda ser definida de forma mais prática e genérica como a adição de substâncias ou de formas de energia que, direta ou indiretamente, alterem a natureza do corpo d'água de uma maneira tal que prejudique os legítimos usos que dele são feitos (VON SPERLING, 2005).

O grau de poluição das águas é definido a partir das impurezas contidas nelas. Os diversos componentes presentes na água e que podem vir a alterar seu grau de pureza são retratados em termos das suas características físicas, químicas e biológicas. As características físicas estão associadas ao tamanho dos sólidos presentes na água que podem ser classificados em suspensos, coloidais e dissolvidos. Já as características químicas dividem as partículas sólidas em inorgânicas e orgânicas, assim os sólidos voláteis representam uma estimativa da fração orgânica, enquanto os sólidos fixos ou inertes constituem a parcela inorgânica ou mineral. Os

seres presentes na água podem ser vivos ou mortos, sendo os seres vivos pertencentes aos reinos animal, vegetal e protista.

A qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros que traduzem as suas principais características. Dessa forma os parâmetros de qualidade da água podem ser divididos em físicos, químicos e biológicos. Os principais parâmetros físicos de qualidade das águas são: cor; turbidez; sabor e odor e temperatura. Já os químicos são: pH (acidez e alcalinidade); dureza; ferro e manganês; cloretos; nitrogênio; fósforo; oxigênio dissolvido; matéria orgânica e micropoluentes orgânicos e inorgânicos. Finalmente, a qualidade biológica da água está intimamente ligada à possibilidade de transmissão de doenças, ou seja, à presença de organismos patogênicos. A determinação da potencialidade de uma água transmitir doenças pode ser efetuada de forma indireta através dos organismos indicadores de contaminação fecal pertencentes, principalmente, ao grupo dos coliformes.

A seguir serão analisados os parâmetros de qualidade da água relevantes para o presente trabalho, a saber: turbidez; cor; nitrogênio; fósforo; matéria orgânica e micropoluentes inorgânicos.

2.2.1 Cor e Turbidez

A coloração da água está relacionada à concentração de sólidos dissolvidos. Os despejos de esgotos domésticos e os resíduos industriais de tinturarias, de tecelagem e da produção de papel, que podem apresentar ou não toxicidade, são as principais fontes antropogênicas de sólidos dissolvidos.

A turbidez confere uma aparência turva à água pela presença de sólidos em suspensão (SS) e pode reduzir a penetração da luz e prejudicar a atividade fotossintética ao longo da coluna d'água. Dentre as fontes antropogênicas de SS destacam-se os despejos domésticos e industriais e os processos erosivos.

2.2.2 Nitrogênio

No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas seguintes formas: nitrogênio molecular (N_2) que pode escapar para a atmosfera; nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão); amônia (na forma livre - NH_3 ou ionizada - NH_4^+); nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) (VON SPERLING, 2005). O nitrogênio nas formas orgânica e amoniacal é conhecido como nitrogênio Kjeldahl total (NKT).

Geralmente o nitrogênio é introduzido no corpo hídrico sob a forma orgânica, ou seja, complexado ao carbono. Após esse ser degradado o nitrogênio é liberado e convertido à forma amoniacal. Esse processo é seguido pela nitrificação parcial, que

consiste na oxidação do nitrogênio amoniacal a nitrito por bactérias autotróficas, as *Nitrossomas*. Outro gênero de bactérias, *Nitrobacter*, é responsável pela oxidação do nitrito a nitrato, resultando na nitrificação total. Em ambiente anóxico, ou seja, na ausência de oxigênio, as bactérias heterotróficas presentes no meio utilizam o nitrato em seu processo respiratório convertendo-o a nitrogênio molecular, processo conhecido como desnitrificação.

As origens antropogênicas de nitrogênio podem ser atribuídas aos despejos domésticos e industriais; à deposição atmosférica decorrente da emissão de compostos de nitrogênio por veículos e chaminés; ao excremento de animais e aos fertilizantes empregados na agricultura. No meio urbano são utilizadas altas doses de fertilizantes, principalmente no inverno, a fim de exaltar a coloração verde dos jardins e gramados.

Uma definição mais aprofundada acerca da presença de nitrogênio no meio aquático se faz necessária, pois ele é um elemento indispensável para o crescimento de algas. Sendo assim, a presença de tal nutriente em elevadas concentrações em ambientes aquáticos, principalmente lênticos como é o caso da Baía de Guanabara, pode conduzir a um crescimento exagerado desses organismos, originando um processo denominado eutrofização.

Adicionalmente, o nitrogênio nos processos bioquímicos de conversão de amônia a nitrito e deste a nitrato, forma do nutriente que as algas assimilam para seu crescimento, implica no consumo de oxigênio dissolvido no meio. Quando esse processo ocorre a taxas aceleradas há uma diminuição acentuada de oxigênio no meio, o que pode afetar a vida aquática. Por fim, o nitrogênio na forma de amônia livre é extremamente tóxico aos peixes.

2.2.3 Fósforo

O fósforo na água apresenta-se principalmente nas formas de ortofosfato, polifosfato (moléculas mais complexas com dois ou mais átomos de fósforo) e fósforo orgânico, quando complexado à matéria orgânica. O fósforo sob a forma de ortofosfato encontra-se disponível para o metabolismo biológico sem necessidade de conversões a formas mais simples, ou seja, é a forma do nutriente reativa que pode ser assimilada pelas algas. Os ortofosfatos podem se apresentar na água como: PO_4^{3-} ; HPO_4^{2-} ; $H_2PO_4^-$ e H_3PO_4 (VON SPERLING, 2005).

As origens antropogênicas de fósforo podem ser atribuídas aos despejos domésticos e industriais; ao excremento de animais; aos fertilizantes empregados na

agricultura; aos aditivos para óleo de motor de veículos e, sobretudo aos detergentes utilizados para limpeza.

A análise da quantidade de fósforo que é introduzido no corpo hídrico é de fundamental importância, pois este é um elemento não só indispensável como também limitante para o crescimento de algas. Assim como mencionado para o nitrogênio, a alta concentração de fósforo no corpo d'água ocasiona um aumento acentuado da biomassa pelo crescimento das algas, num processo denominado eutrofização. Esse processo manifesta-se pela diminuição dos teores de oxigênio dissolvido na água; por condições anóxicas junto ao fundo do corpo d'água; episódios de mortandade de peixes e alterações estéticas.

2.2.4 Matéria Orgânica

As origens antropogênicas da matéria orgânica são atribuídas aos despejos domésticos e industriais. A quantificação da matéria orgânica é realizada de forma indireta a partir de dois parâmetros, a saber: DQO e DBO. A DQO ou demanda química de oxigênio é expressa em mg de O_2 por litro de amostra analisada e indica o consumo de oxigênio ocorrido em função da oxidação química da matéria orgânica presente na amostra através de um forte oxidante (usualmente o dicromato de potássio em meio ácido). Já a DBO ou demanda bioquímica de oxigênio também é expressa em mg de O_2 por litro de amostra analisada e indica a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar a matéria orgânica através de processos bioquímicos, ou seja, revela a fração biodegradável da matéria orgânica.

A matéria orgânica presente nos corpos d'água é de primordial importância, pois é responsável pelo consumo do oxigênio dissolvido na água pelos microrganismos decompositores. Logo, o teor de matéria orgânica é um indicativo do potencial de consumo do oxigênio dissolvido e a DBO e DQO são parâmetros fundamentais para a caracterização do grau de poluição de um corpo d'água.

2.2.5 Micropoluentes Inorgânicos

Os micropoluentes inorgânicos são caracterizados como os metais (arsênio, cádmio, cromo, chumbo entre outros); cianetos; flúor e outros compostos. Eles são originados em atividades antropogênicas como a mineração, garimpo e agricultura e podem alcançar os corpos hídricos através dos despejos industriais.

A presença de micropoluentes inorgânicos é nociva aos ecossistemas aquáticos e prejudica o uso dos corpos d'água receptores para abastecimento humano, irrigação e recreação. A análise desse parâmetro químico é justificada, uma

vez que, grande parte desses poluentes é tóxica, com destaque para os metais solúveis em água. Vários desses metais se concentram na cadeia alimentar, resultando em um grande risco para os organismos situados em níveis tróficos superiores.

Os metais que aparecem com maior frequência e que são quantificados como constituintes dos escoamentos superficiais no presente trabalho são: cromo; chumbo; cádmio e zinco. Eles estão presentes nas tintas, materiais galvanizados e tubulações metálicas, porém são mais recorrentemente associados à circulação de veículos automotores.

Após a apresentação dos parâmetros de qualidade da água mais relevantes e detendo-se o presente trabalho na análise dos escoamentos superficiais em ambientes urbanos são descritas, a seguir, as principais alterações causadas pela urbanização sobre a oferta e qualidade dos recursos hídricos.

2.3 Impactos da Urbanização sobre uma Bacia Hidrográfica

A urbanização acelerada vem sendo acompanhada da redução da disponibilidade de recursos hídricos e da deterioração da qualidade dos mesmos. Os impactos ambientais resultantes do uso e ocupação do solo acarretam também na degradação da qualidade de vida da população, trazendo diversos tipos de problemas a serem enfrentados, tais como: dificuldades para captação de água com qualidade adequada para o abastecimento; aumento dos custos com tratamento de água e esgoto; escassez de água para seus diversos usos e doenças de veiculação hídrica.

O desenvolvimento das cidades, através da substituição da cobertura vegetal por superfícies impermeáveis, alterou o balanço hídrico das áreas urbanizadas ao reduzir drasticamente a interceptação e a infiltração. A superfície urbana não retém água como a vegetação, o que reduz a evapotranspiração, ao mesmo tempo em que bloqueia a infiltração de água no solo, diminuindo os níveis dos lençóis freáticos e conseqüentemente a recarga dos rios em períodos de estiagem (**Figura 2**). Dessa forma, o que deixa de infiltrar permanece na superfície, aumentando o volume e a velocidade do escoamento superficial. De fato, SCHUELER (1987) verificou que o aumento do coeficiente volumétrico de *runoff*³ é proporcional à área impermeável, conforme apresentado na **Figura 3**.

³ Coeficiente de *runoff* é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado

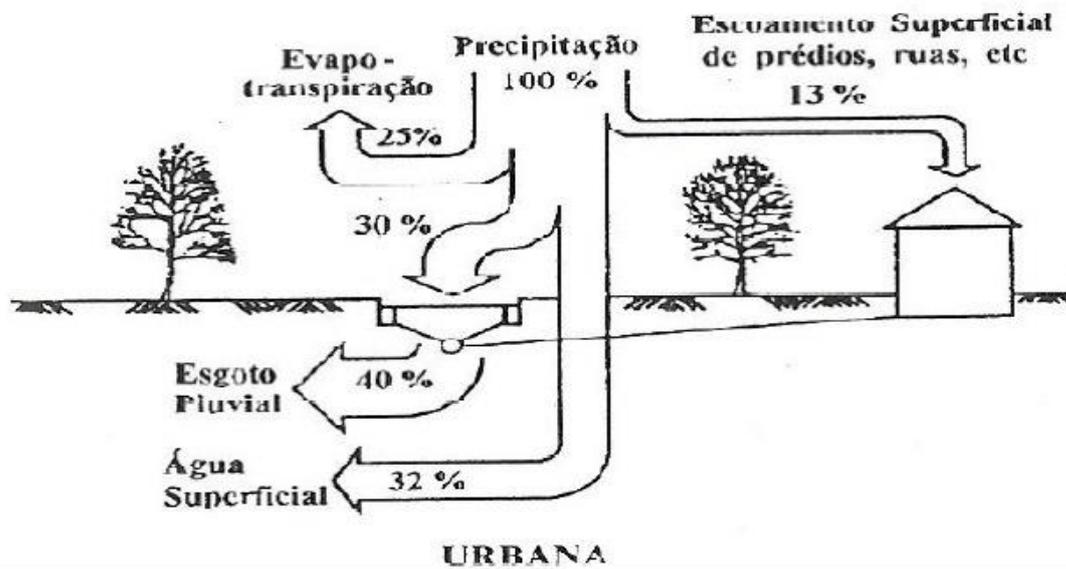
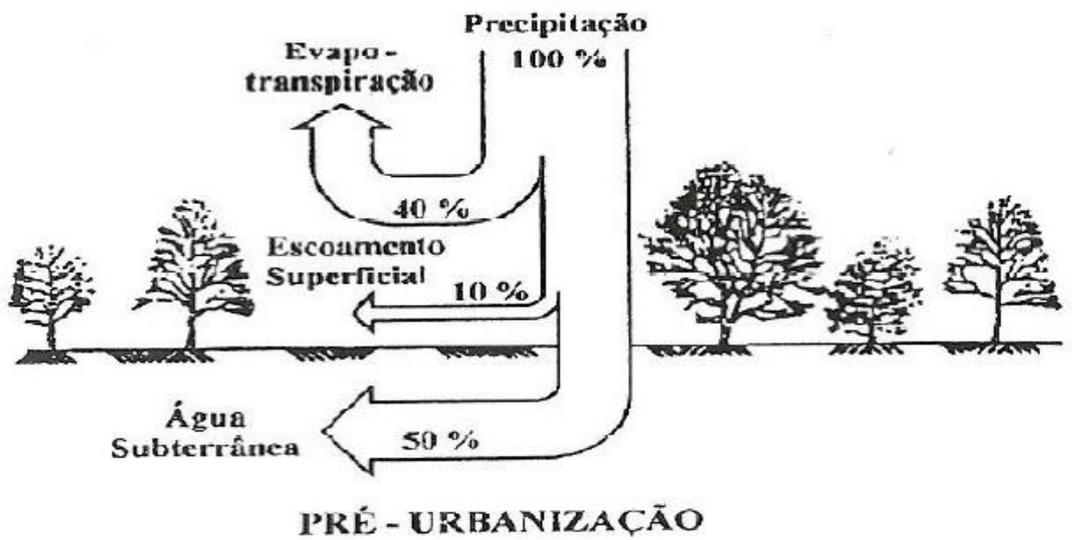


Figura 2. Alterações hidrológicas devido à urbanização
 Fonte: TUCCI, PORTO, BARROS (1995)

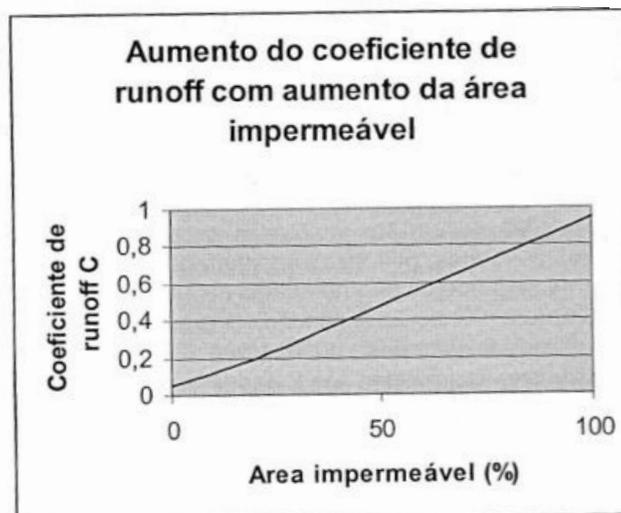


Figura 3. Relação entre área impermeável e o coeficiente de runoff
 Fonte: TOMAZ (2006)

O aumento do volume de água escoado associado às ocupações marginais são fatores de grande influência no incremento de inundações no meio urbano (**Figura 4**). Isso porque o equilíbrio natural existente nos cursos d'água para extravasamento das cheias é rompido pela construção de avenidas, loteamentos ou assentamentos informais nas áreas de várzeas de córregos e rios.

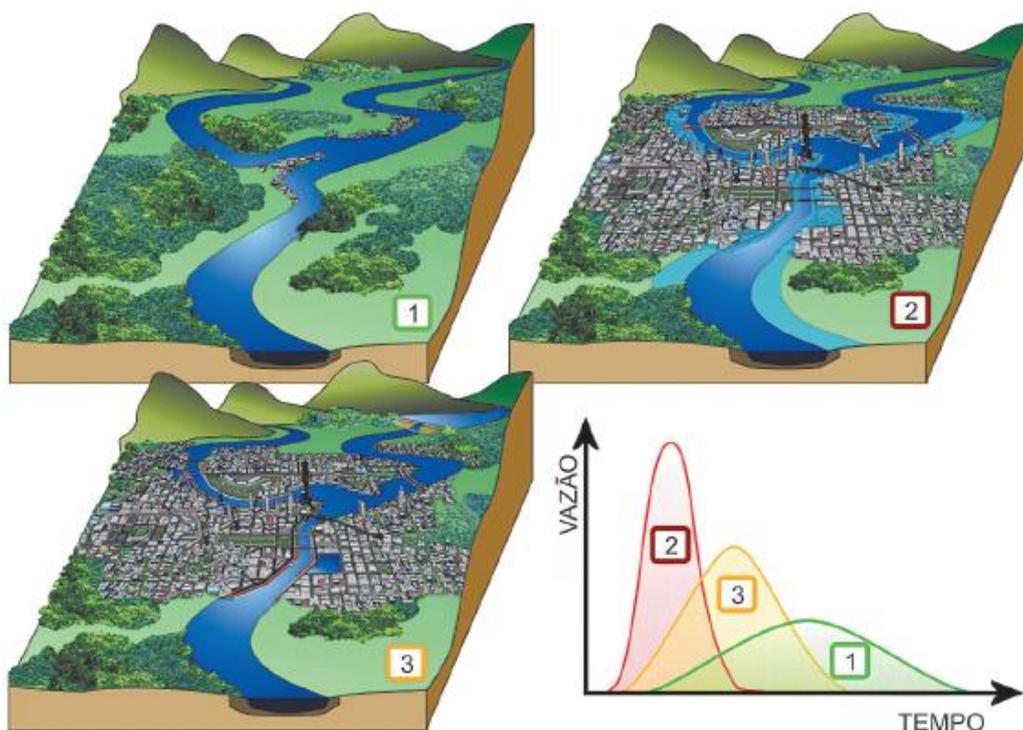


Figura 4. Desenvolvimento urbano e cheias urbanas
Fonte: SMDU (2012)

A retificação de meandros naturais dos rios e a expansão de áreas impermeáveis, decorrentes do processo de urbanização, contribuem para o aumento da velocidade do escoamento superficial. Taxas aceleradas de escoamento superficial potencializam a capacidade da água de remover partículas do solo e poluentes associados a ele, transportando-os e depositando-os mais a jusante. Na **Figura 5** encontram-se sintetizados os efeitos da urbanização no aumento das inundações e da poluição das águas.

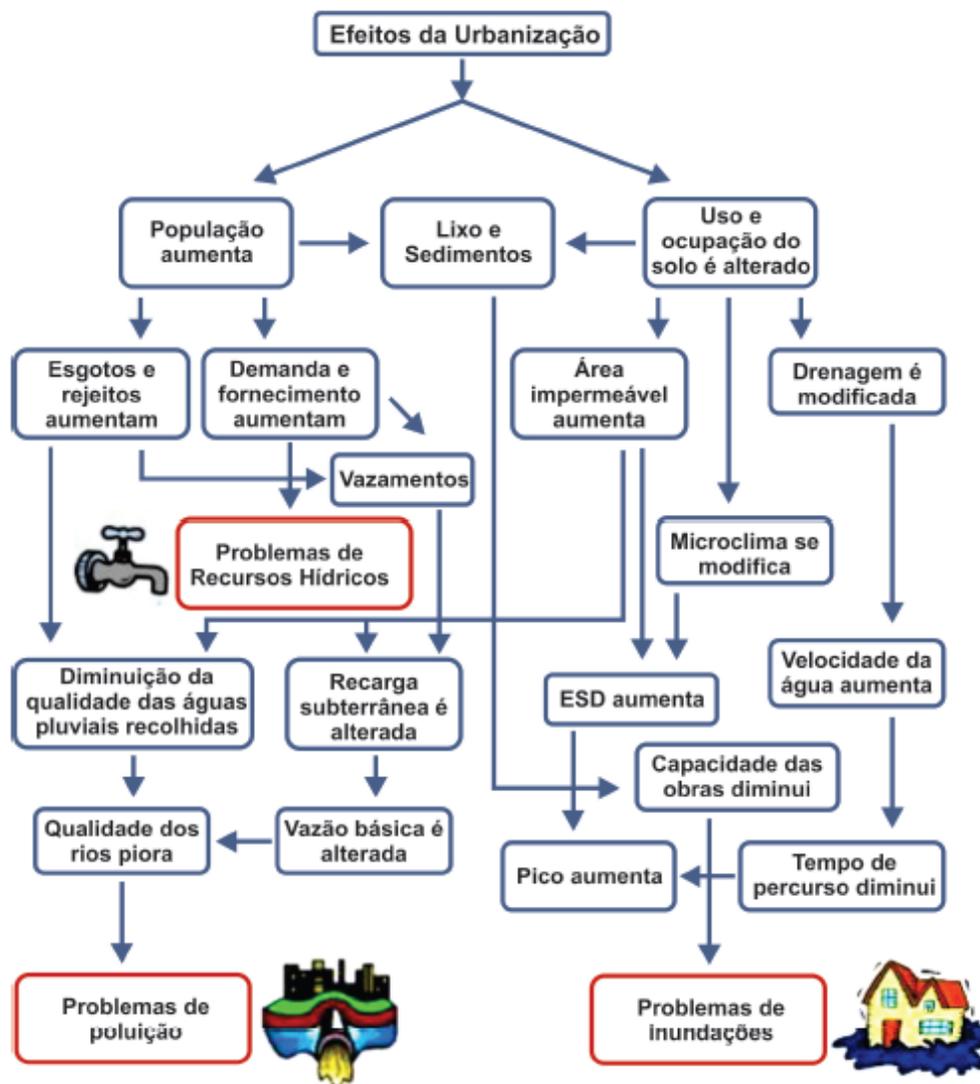


Figura 5. Efeitos da urbanização
 Fonte: SMDU (2012)

Dessa forma, entende-se que o impacto devido à urbanização se dá nos cursos d'água onde são lançadas as águas pluviais e a jusante, quando tais águas são encaminhadas para outros rios.

2.4 Poluição Difusa de Origem Pluvial

Existem duas formas pelas quais a carga poluidora atinge o corpo hídrico: pontual e difusa. A primeira é decorrente de ações pontuais e localizadas, como uma cidade que lança seu efluente num corpo d'água através de uma única tubulação.

A segunda, denominada poluição difusa, alcança os rios, lagoas, baías, etc., distribuída ao longo das margens, não se concentrando em um único local como é o caso da poluição pontual. TOMAZ (2006) exemplifica a poluição difusa como aquela

proveniente das chuvas sobre uma cidade, que molham os telhados, os jardins, as ruas, etc, levando consigo poluentes urbanos para os cursos d'água.

Pode-se caracterizar a poluição difusa a partir das seguintes condições (TOMAZ, 2006):

- O lançamento da carga poluidora ocorre em intervalos intermitentes e está associada, em sua maioria, à precipitação;
- Os poluentes são transportados a partir de extensas áreas;
- A origem desse tipo de poluição é de difícil identificação o que impossibilita o seu monitoramento;
- O controle da poluição deve incluir ações sobre a área geradora da carga, e não somente o controle do efluente quando lançado; e
- A carga poluidora varia de acordo com intensidade e duração do evento meteorológico, o tamanho da área da bacia e outros fatores que dificultam o estabelecimento da correlação vazão x carga poluidora.

A característica mais marcante da poluição de origem difusa talvez possa ser atribuída à grande variabilidade da concentração de poluentes presentes quando do lançamento da drenagem urbana nos corpos d'água. As concentrações variam em ordens de magnitude entre bacias hidrográficas, entre diferentes eventos de precipitação e, também, ao longo de um mesmo evento (PORTO, 1995). A poluição por cargas difusas é, portanto, um fenômeno aleatório como o evento hidrológico responsável pela sua ocorrência, justificando assim as incertezas existentes acerca da poluição gerada pelos escoamentos superficiais e os desafios enfrentados para o seu controle (PRODANOFF, 2005).

A poluição por cargas difusas pode ser dividida basicamente em duas categorias: urbana e rural. Na área rural, as fontes são, em sua maioria, as atividades agrícolas, ou seja, a aplicação de agroquímicos como pesticidas, fertilizantes, entre outras substâncias empregadas nas lavouras e plantações. Já na área urbana ela tem origem no escoamento superficial que carrega poluentes depositados de forma esparsa sobre a área de contribuição da bacia hidrográfica. A poluição difusa é, portanto, um dos maiores problemas enfrentados no meio ambiente urbano, causando impactos extensivos sobre a qualidade das águas e constituindo um fator extremamente impactante para seus diferentes usos na cidade. Assim, o presente trabalho se deterá na análise dos escoamentos superficiais em meio urbano.

Os principais poluentes carregados pela drenagem urbana são sedimentos; matéria orgânica; bactérias; metais; hidrocarbonetos provenientes do petróleo; tóxicos, como os pesticidas e poluentes do ar (ELLIS, 1986). A carga poluidora depende do

tipo e do uso do solo; de características hidrológicas e topográficas; cobertura vegetal; estação do ano; eficiência na limpeza das ruas, entre outros fatores (SILVA, 2003).

É fundamental conhecer qualitativamente as prováveis fontes desses poluentes a fim de avaliar o seu potencial poluidor, os dispositivos de controle que podem ser utilizados para desviá-los antes que atinjam o corpo receptor, bem como concentrar esforços nas áreas problemáticas.

2.5 Fontes Potenciais de Poluentes Carreados Pelos Escoamentos Superficiais em Meio Urbano

Destacam-se como principais fontes de cargas difusas em meio urbano: a deposição atmosférica; a acumulação de poluentes nas ruas, pela disposição inadequada de lixo, pelo desgaste da pavimentação entre outros; derramamentos químicos e, finalmente, a erosão.

2.5.1 Deposição Atmosférica

Os poluentes do ar depositam-se sobre telhados, ruas e demais superfícies da área urbana, resultando na chamada deposição seca. A chuva "lava" essas superfícies e, assim, tais poluentes são transportados até os corpos d'água. Os poluentes podem então ser carreados pelo escoamento superficial, após sua deposição seca, ou podem ser trazidos pela própria chuva, processo denominado de deposição úmida. Nesse caso, gases e partículas presentes na atmosfera dissolvem-se ou são arrastados pela água da chuva e trazidos ao solo.

As principais fontes de poluição do ar podem ser atribuídas à indústria, dita fonte fixa e aos veículos, as fontes móveis. Enquanto os veículos são responsáveis principalmente pela emissão de óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e hidrocarbonetos voláteis, as indústrias liberam principalmente material particulado e óxidos de enxofre. Talvez, o problema mais importante associado à poluição atmosférica, no que se refere às cargas difusas, seja a chamada chuva ácida, isto é, a diminuição do pH da água da chuva. Em locais com concentrações elevadas de dióxido de enxofre e óxido de nitrogênio, esses se combinam com o vapor d'água e formam os ácidos sulfúrico e nítrico, que reduzem o pH da chuva que irá se depositar nas superfícies. A chuva ácida altera o ecossistema aquático, diminuindo, por exemplo, a população de peixes, além de prejudicar a vegetação.

A figura a seguir mostra a emissão de gases na RECUC.



Figura 6. Emissão de gases na REDUC

Fonte: Disponível em: <<http://www.oserrano.com.br/view.asp?tipo=Local&id=33053>>. Acesso em: 05/11/2015.

2.5.2 Acumulação de Poluentes nas Superfícies Urbanas

A representação esquemática do processo de acumulação de poluentes nas ruas pode ser visualizada na **Figura 7**. Entre os principais poluentes estão incluídos: resíduos do desgaste da pavimentação; vazamentos e resíduos deixados por veículos; restos de vegetação; partículas de solo como areia e argila; dejetos de animais e lixo (NOVOTNY e CHESTERS, 1981). Esses materiais acumulam-se junto às guias e sarjetas constituindo fontes de poluentes que irão compor os escoamentos superficiais urbanos.

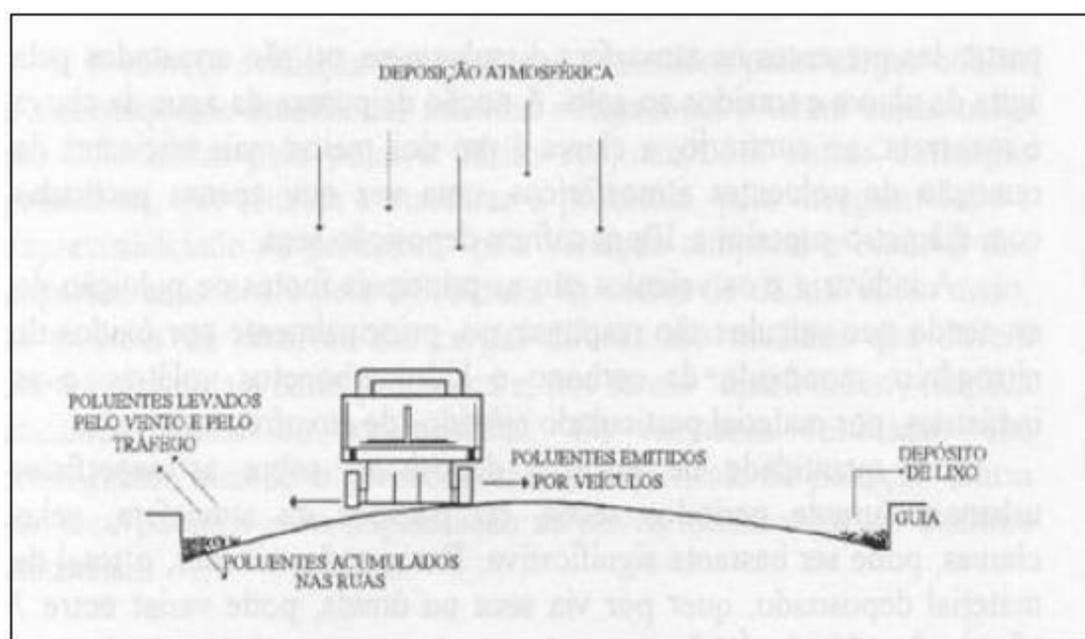


Figura 7. Principais processos responsáveis pelo acúmulo de poluentes nas ruas.

Fonte: NOVOTNY e CHESTERS (1981)

É usual que pedaços de asfalto, partículas de cimento e de qualquer outro material utilizado na pavimentação das ruas soltem-se, devido ao desgaste e sejam carreados pela chuva. Contribuem para um maior desgaste as condições meteorológicas e o estado de conservação do pavimento.

Já os veículos contribuem com o derrame de combustível; óleo lubrificante; fluído de freio; líquido refrigerante; partículas oriundas do desgaste de freios e pneus; ferrugem; partículas de tinta e componentes quebradas que se soltam e se depositam no pavimento. Apesar da quantidade pouco significativa de materiais que são depositados pelos veículos, eles merecem especial atenção por apresentarem potencial poluidor considerável. Vale destacar que esses poluentes são em geral compostos por metais, ou seja, são tóxicos, logo potencialmente prejudiciais à vida aquática.

O lixo depositado nas ruas dos centros urbanos tem composição heterogênea e variável podendo ser composto por: embalagens; matéria orgânica como cascas de fruta; dejetos de animais; folhas secas; grama cortada e lixos deixados por descuido na coleta. A quantidade de lixo deixada nas ruas depende da densidade de ocupação da área, do movimento de pedestres e de veículos e, principalmente, da educação da população (**Figura 8**).



Figura 8. Acúmulo de lixo em Duque de Caxias.

Fonte: Disponível em: < http://1.bp.blogspot.com/_uJAXcPjVjms/UK6kivoOI9I/AAAAAAAAAq4/1wuBWYbXHig/s1600/Lixo+no+largo+do+ganso.jpg >. Acesso em: 30/05/2016.

Ademais, a vegetação constituída por folhas; grama; galhos e outros tipos de plantas que caem ou são depositados pode ser carreada pelas águas da chuva. Ainda sujeira e partículas do solo, como areia e argila contribuem para compor os escoamentos superficiais em meio urbano.

Os vazamentos causados pelas redes de esgotos deficientes constituem uma fonte de poluentes significativa em função de sua carga orgânica. Esses vazamentos e contaminações indesejadas estão intimamente associados a doenças de veiculação hídrica.

2.5.3 Derramamentos Químicos

As substâncias tóxicas mais frequentes como componentes da poluição difusa urbana são: metais pesados, pesticidas organoclorados e bifenilas policloradas (PCB's) (MARSALEK, 1986). Esses poluentes tóxicos são originados de derramamentos químicos, como os resíduos oleosos de postos de gasolina ou de despejos nas sarjetas de produtos como tintas; solventes; óleo lubrificante e veneno.

Os PCB's, apesar de terem seu comércio, importação e produção proibidos desde os anos 80, ainda estão presentes no ambiente devido à sua alta persistência e podem ser carregados pelas águas da chuva.

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA's) são substâncias a base de petróleo que podem ser cancerígenas e tóxicas e estão frequentemente presentes nas águas pluviais. Já os pesticidas organoclorados, utilizados no controle de insetos e pragas, são empregados em menores quantidades no meio urbano, usualmente em jardins e parques. Apesar disso são altamente tóxicos, persistentes e acumulam-se na cadeia alimentar, sendo, portanto uma fonte de poluição que merece atenção.

Na figura a seguir é possível visualizar o acúmulo de um efluente oleoso e supostamente tóxico vindo de uma oficina mecânica. O mal estado de conservação do pavimento favorece o empoçamento desse resíduo que será carregado pelos escoamentos superficiais.



Figura 9. Acúmulo de resíduo oleoso vindo de uma oficina mecânica na rua Terezinha Pinto, em Nova Iguaçu.

Fonte: GOOGLE (2016).

2.5.4 Erosão

Conforme descrito no **item 2.3**, a urbanização acarreta em taxas aceleradas de erosão, em função do aumento do volume e principalmente da velocidade dos escoamentos superficiais. Esse processo é intensificado nos locais onde se instalam novos empreendimentos, em abertura de novas avenidas, novos loteamentos etc. A erosão depende das características do solo; do clima; da topografia e outros. Maiores taxas de erosão significam maiores arrastes e, portanto, maiores quantidades de sedimentos que serão introduzidos nos cursos d'água. Na **Figura 10** é apresentada uma rua localizada em Duque de Caxias logo após um evento de chuva intensa. A turbidez da água indica a alta carga de SS carregada pelos escoamentos.



Figura 10. Rua após chuva intensa em Duque de Caxias em fevereiro de 2016.
Fonte: Disponível em: <<http://globo.globo.com/rio-chuvas-causam-estragos-na-baixada-fluminense-na-regiao-serrana-3552508>>. Acesso em: 01/08/2016.

O sedimento trazido pelo escoamento superficial urbano tende a se depositar no fundo do leito do corpo d'água receptor, acarretando em problemas diversos, dentre eles: a diminuição da capacidade de escoamento através da alteração das características hidráulicas do meio, a deterioração do seu aspecto estético pelo aumento da turbidez da água e a alteração da população dos organismos que vivem junto ao fundo, uma vez que o depósito de sedimentos pode afetar locais de reprodução e fonte de alimento dessas espécies. Adicionalmente, muitos poluentes têm forte afinidade com os SS, dessa forma, metais; poluentes orgânicos; nutrientes e organismos patogênicos podem estar adsorvidos aos sólidos introduzidos no corpo hídrico.

2.6 Impactos Causados pelas Cargas Difusas Sobre a Qualidade do Corpo Hídrico

Os impactos causados pelo lançamento dos escoamentos superficiais nos corpos d'água incluem: alterações estéticas, no pH e temperatura do meio; demanda por oxigênio decorrente do aporte de matéria orgânica e nutrientes; introdução de sólidos em suspensão e dissolvidos, organismos patogênicos, metais e compostos orgânicos, sejam naturais ou sintéticos. Esses impactos podem interagir em diversos graus de formas antagônicas, aditivas ou por sinergia, afetando a vida aquática (PRODANOFF, 2005).

É importante destacar que a magnitude do impacto causado pelo lançamento da drenagem urbana depende de fatores como o estado do corpo d'água antes do lançamento; sua capacidade assimilativa e, ainda, da quantidade e distribuição das chuvas; uso do solo na bacia; tipo e quantidade de poluente arrastado. De forma geral, a introdução de cargas difusas gera modificações que produzem impactos negativos diversos, com consequências a curto e a longo prazo sobre o ecossistema aquático. Os vários impactos e seus respectivos prazos de atuação podem ser visualizados na **Figura 11**.

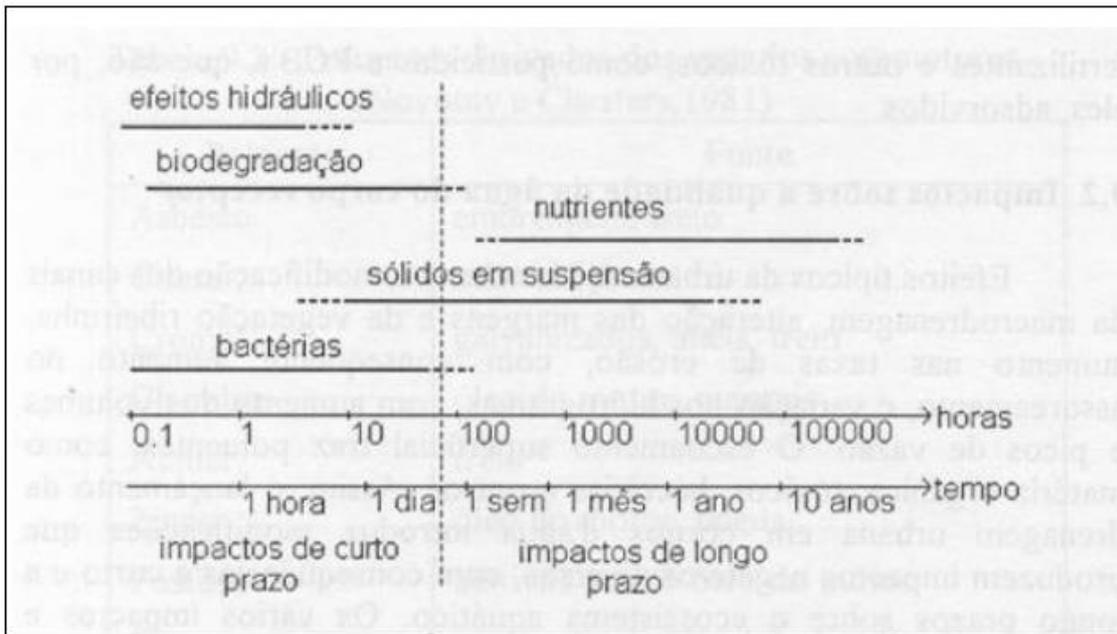


Figura 11. Escala de tempo para ocorrência dos problemas causados pelo lançamento da drenagem urbana
 Fonte: HVITVED-JACOBSEN (1986)

A introdução de SS carregados pelos escoamentos superficiais no corpo receptor pode ser considerado um impacto de curto prazo na medida em que provoca alterações nas condições hidrodinâmicas do meio e na biota devido a mudanças dos *habitats*. Esse impacto, no entanto, pode ainda causar reflexos em longo prazo em função da capacidade das partículas sólidas de adsorverem outros poluentes e sedimentarem no fundo dos leitos, conforme descrito no item anterior.

Um impacto relevante para a saúde da população que se utiliza das águas do corpo receptor para múltiplos fins é a contaminação por organismos patogênicos. A presença de *Escherichia Coli*⁴ nas águas de drenagem urbanas pode ocorrer devido ao vazamento de fossas sépticas e redes de esgoto deficientes ou aos dejetos de animais acumulados na superfície. Embora a contaminação indicada pela presença de

⁴ *E. Coli* é o organismo predominante no grupo de coliformes termotolerantes e utilizado como indicador de contaminação fecal por estar presente exclusivamente no trato digestório do homem e animais.

organismos de origem fecal seja um impacto de curto prazo, visto que a morte dessas bactérias ocorre de forma relativamente rápida quando livres na água, sabe-se que elas são adsorvidas no sedimento e podem vir a constituir o lodo de fundo, onde encontram um ambiente propício para sua sobrevivência: proteção contra os raios solares e alto teor de nutrientes.

A depleção da concentração de oxigênio no meio aquático ameaça a sobrevivência de peixes e organismos aquáticos sensíveis e pode ser considerado um impacto de curto prazo, uma vez que, resulta da degradação da matéria orgânica e da oxidação de compostos presentes nos volumes escoados. Ainda, no ponto de lançamento de efluentes ocorre a ressuspensão de sedimentos, que são retirados das camadas anóxicas mais profundas e expostos à biodegradação e à oxidação, reduzindo ainda mais a concentração de oxigênio dissolvido no meio. Já o afluxo de nutrientes ao corpo receptor desencadeia um processo denominado eutrofização, anteriormente apresentado (**Item 2.2.3**). É, portanto um impacto de longo prazo, tanto no que se refere ao tempo necessário para que comece a afetar o ecossistema, como no tempo necessário para sua correção.

O impacto causado pela introdução de substâncias tóxicas no meio aquático é de curto prazo quando avaliado pelos índices de mortalidade de seres aquáticos provocada após seu lançamento. Vários poluentes tóxicos sofrem a chamada bioacumulação, ou ampliação biológica, fenômeno que leva ao aumento da concentração da substância tóxica no tecido dos organismos nos níveis mais elevados da cadeia alimentar. A ingestão desses organismos pelo homem pode causar graves danos à saúde. Ainda, muitos deles acumulam-se no sedimento, o que pode tornar a sua permanência no ecossistema bastante longa, constituindo-se em um impacto de longo prazo.

2.7 O Controle da Poluição Difusa

As BMPs (*Best Management Practices*) podem ser traduzidas como melhores técnicas ou práticas de gerenciamento, ou ainda, medidas ótimas para o gerenciamento de cargas difusas. Essas técnicas têm por objetivo melhorar a qualidade das águas; reduzir a frequência de inundações; aumentar a participação da sociedade no monitoramento das bacias hidrográficas; integrar a paisagem urbana ao meio ambiente, dentre outros.

Os mecanismos de remoção dos poluentes das BMPs são basicamente: a sedimentação de poluentes, a infiltração de nutrientes solúveis no solo e a estabilização química e biológica das substâncias coloidais presentes nas águas

pluviais (TOMAZ, 2006). Existem diversas possibilidades de classificação das técnicas de controle da poluição difusa: quanto à forma de intervenção as BMPs classificam-se em estruturais ou não estruturais e quanto à localização na bacia o controle pode ser feito à montante ou à jusante.

2.7.1 Controle à Montante e à Jusante

Os sistemas de controle implantados próximos às fontes de geração do deflúvio são classificados como sistemas de controle à montante ou no lote e baseiam-se nas funções de armazenamento e de infiltração. O controle por armazenamento tem como objetivo deter as águas pluviais e reduzir as vazões de pico de forma a controlar as cheias urbanas. Dentre essas técnicas destacam-se: armazenamento no telhado (telhados verdes), armazenamentos nos jardins e estacionamentos de veículos e armazenamento em reservatórios enterrados (TOMAZ, 2006).

O controle por infiltração visa interferir no ciclo hidrológico da região, mitigando parcialmente os impactos decorrentes da urbanização. Dentre essas técnicas destacam-se: aplainamento do terreno para aumentar a infiltração no solo; bombeamento da água de drenagem dos prédios para caixas contendo pedras que promovam a infiltração; construção de pequenas lagoas (com 100 mm de profundidade) próximas aos edifícios para melhorar a infiltração das águas que escoam dos telhados; trincheiras de infiltração; vala gramada; micro drenagem com tubos perfurados; faixa filtro gramada; jardins pluviais e captação de água da chuva (TOMAZ, 2006).

Diferentemente, o controle à jusante tem como objetivo melhorar a qualidade das águas pluviais antes que elas atinjam os cursos d'água. As técnicas de controle à jusante são: bacias de retenção molhadas; *Wetlands* (alagadiços); reservatórios de retenção e bacia de infiltração (TOMAZ, 2006).

2.7.2 Técnicas Estruturais e Não Estruturais

As principais BMPs podem ser subdivididas em cinco grupos básicos dentre as práticas estruturais e não estruturais. As medidas estruturais estão relacionadas à construção de dispositivos que ofereçam armazenamento temporário e tratamento das águas pluviais e estão subdivididas em três grupos:

- Infiltração

As práticas de infiltração objetivam captar e armazenar temporariamente o volume para melhoria da qualidade das águas pluviais e permitir que o mesmo se

infiltra no solo por um certo período. As técnicas de infiltração atendem à recarga de águas subterrâneas, à redução da vazão de pico de enchente e em alguns casos ao controle da erosão. São as trincheiras de infiltração e bacias de infiltração.

- Filtração

As práticas de filtração são destinadas a capturar e armazenar o volume de água de chuva que segue por um filtro de areia, orgânico ou similar para melhoria da sua qualidade. As águas pluviais filtradas podem infiltrar no solo ou ser totalmente encaminhadas para o sistema de drenagem urbana. Caso a prática de filtração possibilite a infiltração através do solo, ela pode garantir também o volume de recarga do aquífero. São os filtros de areia com todas as suas variações e a bioretenção.

- Detenção

De modo geral, as lagoas de detenção podem resultar na melhoria da qualidade das águas pluviais e atender ao controle da erosão e à redução da vazão de pico de uma determinada enchente. São as lagoas de detenção alagadas, os alagadiços artificiais (*Wetlands*) e os separadores de óleos e graxas.

As técnicas não estruturais são aquelas que visam reduzir os níveis de poluição das águas pluviais, não por meio de obras, mas pela introdução de normas, regulamentos e programas. Elas estão subdivididas em dois grupos:

- Planejamento e uso do solo

São práticas como a regulação do uso do solo que deve incluir a garantia de espaços livres e a redução da área impermeável; a regulamentação para áreas em construção; a criação e manutenção de áreas verdes, entre outras.

- Pós-desenvolvimento

São práticas como a varrição das ruas; o controle e detecção de vazamentos em redes de esgoto; a coleta e disposição final de lixo e a educação da população de modo a prevenir o uso e descarte inadequado de produtos poluentes.

As medidas não estruturais estão cada vez mais sendo usadas para a melhoria da qualidade das águas pluviais, em muitos casos, elas são usadas em combinação com as medidas estruturais.

2.7.3 Infraestrutura Verde Urbana

A infraestrutura verde tem sido vista como alternativa ao manejo das águas pluviais nos centros urbanos. Ela tem como finalidade preservar o ciclo hidrológico

natural, profundamente alterado pela impermeabilização das superfícies, convertendo áreas que causam impactos ecológicos em elementos que mimetizam os processos naturais. A incorporação das tipologias de infraestrutura verde à escala local tem por objetivo manter ou recuperar, mesmo que parcialmente, a funcionalidade da paisagem, através da mitigação das interferências antrópicas e da promoção e manutenção dos fluxos bióticos e abióticos (HERZOG, 2009).

Os projetos de infraestrutura verde têm como principais objetivos reduzir o volume dos escoamentos superficiais e a frequência das inundações, através da maior infiltração da água; controlar a poluição difusa, promovendo a filtração e limpeza da água; garantir o abastecimento dos aquíferos; reduzir as ilhas de calor e finalmente valorizar esteticamente os centros urbanos, o que contribui para o aumento de qualidade de vida dos seus moradores.

A seguir são apresentadas diversas tipologias de projeto de infraestrutura verde urbana que podem ser incorporadas aos espaços já existentes e às práticas de controle da poluição difusa.

2.7.3.1 Sistemas de Biorretenção

Os sistemas de biorretenção devem ser implantados em cotas mais baixas do terreno, para onde converge o escoamento superficial, e ser constituídos por plantas de diferentes espécies e tamanhos. Essas estruturas recebem o escoamento da água que infiltra gradualmente no solo, garantindo a retenção da água enquanto a atividade biológica de plantas e microrganismos promove a remoção dos poluentes das águas. Dessa forma, os sistemas de biorretenção reduzem parte do volume do escoamento superficial e conseqüentemente o tamanho e custo do sistema de drenagem de jusante; promovem a remoção de sedimentos finos, metais, nutrientes e bactérias, melhorando a qualidade das águas; além de contribuírem para aumentar a beleza paisagística do local. Dentre os sistemas de biorretenção destacam-se:

- Jardins de chuvas

Os jardins de chuva são colocados junto do meio-fio, para receber o escoamento superficial que carrega os poluentes do leito carroçável. São indicados para áreas altamente impermeáveis, como pátios e estacionamentos; ruas largas com baixo tráfego de veículos; ruas próximas a locais em que se deseja diminuir a velocidade dos veículos ou ainda podem ser construídos dentro do próprio lote. **(Figura 12)**



Figura 12. Jardins de chuva

Fonte: Disponível em: < <http://atverdebrasil.com.br/wp-content/uploads/portland-aguas1.jpg>>. Acesso em: 06/07/2016.

- Canteiros pluviais

São jardins de chuvas de pequenas dimensões, ou seja, são mais compactados para utilização em espaços urbanos densamente construídos. Eles são geralmente instalados ao redor das edificações contendo canalização que verte água escoada diretamente dos telhados. **(Figura 13)**



Figura 13. Canteiros pluviais

Fonte: Disponível em: <<http://reformafacil.com.br/ecologia/infra-estrutura-verde-canteiro-pluvial-2/>>. Acesso em: 06/07/2016

- Biovaletas

As biovaletas são depressões lineares preenchidas com vegetação, solo e demais elementos filtrantes. A água infiltrada é coletada por tubos perfurados localizados no subsolo e encaminhada para tratamentos complementares ou devolvida às redes de drenagem locais. Elas são, geralmente, usadas para tratar os escoamentos de ruas e de estacionamentos. (**Figura 14**)



Figura 14. Biovaletas

Fontes: Disponível em: < <http://reforma facil.com.br/ecologia/infra-estrutura-verde-biovaleta/>> e < <http://www.criarquitetura.com.br/blog/biovaletas-bioswale/>>. Acesso em: 06/07/2016.

2.7.3.2 Lagoas Pluviais

As lagoas pluviais funcionam como bacias de retenção de água de escoamento e são capazes de reter grandes volumes de água. Essas estruturas mantêm sempre uma quantidade mínima de água retida entre eventos de precipitação, caracterizando-se como um ambiente alagado artificial. Os alagados construídos são dimensionados de acordo com o volume da contribuição de água captada, assim, em áreas altamente urbanizadas eles podem ser parte integrante da paisagem urbana, já nas escalas regionais, eles podem ocupar áreas relativamente grandes fornecendo *habitat* significativo para a vida silvestre. As lagoas pluviais aliviam os sistemas de drenagem

de águas pluviais; reduzem a carga poluidora dos escoamentos; possibilitam a infiltração e recarga de aquíferos e ainda podem ser adaptadas como alternativa de recreação e lazer, valorizando o entorno. (Figura 15)



Figura 15. Lagoas pluviais em: a) Wilsonville, Oregon (EUA) b) Seattle, Washington (EUA)

Fonte: Disponível em: <<http://reformafacil.com.br/ecologia/infra-estrutura-verde-lagoa-pluvial/>>. Acesso em:06/07/2016.

2.7.3.3 Lagoas Secas ou de Detenção

As lagoas de detenção ou piscinões são constituídas por depressões vegetadas que durante as chuvas recebem as águas pluviais, possibilitando a infiltração e recarga de aquíferos e retardando a entrada das águas no sistema de drenagem. Elas podem ser projetadas ao longo de vias, rios, em parques lineares e fazer parte de projetos de paisagismo públicos e privados de loteamentos e condomínios. Em tempos secos, elas podem ser usadas para lazer, recreação e atividades diversas. Deve-se atentar ao fato de que, caso a bacia tenha como principal objetivo o controle da poluição, ela deve ser de detenção prolongada, uma vez que tempos de detenção maiores são desejáveis para que ocorra a sedimentação dos poluentes, diferentemente daquelas projetadas unicamente para o controle de cheias. **(Figura 16)**



Figura 16. Bacias de detenção

Fontes: Disponível em: < <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/4/artigo220142-1.aspx> > e
<http://143.107.108.83/sigrh/basecon/macrodrenagem/meninos/Arquivos_Men/Cap4_Men_Frame.html>.
Acesso em: 06/07/2016.

2.7.3.4 Pavimentos Porosos ou Permeáveis

Os pavimentos porosos ou permeáveis constituem uma solução para reduzir a impermeabilidade das superfícies urbanas, uma vez que, permitem a infiltração das águas pluviais. Seu principal benefício é a redução do escoamento superficial e indiretamente da carga poluidora nos escoamentos em função da filtração garantida pelo solo. Dentre as opções de materiais pode-se citar: asfalto poroso; concreto permeável; blocos intertravados; brita e pedriscos. **(Figura 17)**



Figura 17. a) Pavimento intertravado poroso e b) pisograma ou concregrama

Fonte: SDMU (2012)

2.7.3.5 Telhado Verde

Esta tipologia consiste no recobrimento das coberturas com vegetação, de forma a reproduzir uma área natural de infiltração alterada pela edificação. As águas pluviais podem ser coletadas nos tetos verdes, direcionadas a um tratamento preliminar e posteriormente utilizadas ou armazenadas para usos futuros, tais como: lavagem de carros; calçadas; irrigação de plantas ou ainda direcionadas para os canteiros pluviais. A implantação de telhados verdes pode reduzir os efeitos das ilhas de calor e a temperatura interna das edificações, contribuindo para a eficiência energética dessas. **(Figura 18)**



Figura 18. Telhados verdes em: a) Recife e b) São Paulo
Fontes: Disponível em: < <https://ntcbrasil.com.br/blog/novidade-em-prol-da-sustentabilidade-telhados-verdes/> > e < <https://arvoresdesaopaulo.wordpress.com/2015/06/01/5-telhados-verdes-modernos-na-cidade-de-sao-paulo/> >. Acesso em: 06/09/2016.

3 Caracterização da Bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí

3.1 Física

A bacia do rio Iguaçu-Sarapuí apresenta uma área de drenagem de 726 km², dos quais 168 km² constituem a sub-bacia do Sarapuí. Limita-se, ao norte com a bacia do Paraíba do Sul, ao sul com a bacia dos rios Pavuna/Meriti, a leste com a bacia dos rios Saracuruna e Inhomirim/Estrela e a oeste com a bacia do rio Guandu e outros afluentes da baía de Sepetiba (SERLA, 1996).

O rio Iguaçu tem suas nascentes na Serra do Tinguá, a uma altitude aproximada de 100 m, desenvolve seu curso com uma extensão total de cerca de 43 km e deságua na Baía de Guanabara. Seus principais afluentes são os rios: Tinguá, Pati e Capivari pela margem esquerda e Botas e Sarapuí pela margem direita. O rio Sarapuí tem cerca de 36 km de extensão e sua nascente localiza-se a uma altitude aproximada de 900 m na Serra de Bangu. Ele passou a pertencer à bacia do rio Iguaçu no início do século XX, por ocasião das primeiras grandes obras de saneamento na Baixada Fluminense, quando seus cursos médios foram retificados e sua foz desviada para o curso inferior do rio Iguaçu.

A bacia localiza-se na região denominada Baixada Fluminense, limitada ao norte pela Serra do Mar e ao sul pelos Maciços Rochosos Costeiros. O clima da bacia é quente e úmido com estação chuvosa no verão e temperatura média anual em torno dos 22°C. Os rios descem da Serra do Mar em regime torrencial, apresentando, portanto, forte poder erosivo e ao alcançar a planície perdem velocidade e devido ao baixo gradiente do terreno, extravasam de seus leitos formando imensas áreas alagadas (pântanos e brejos).

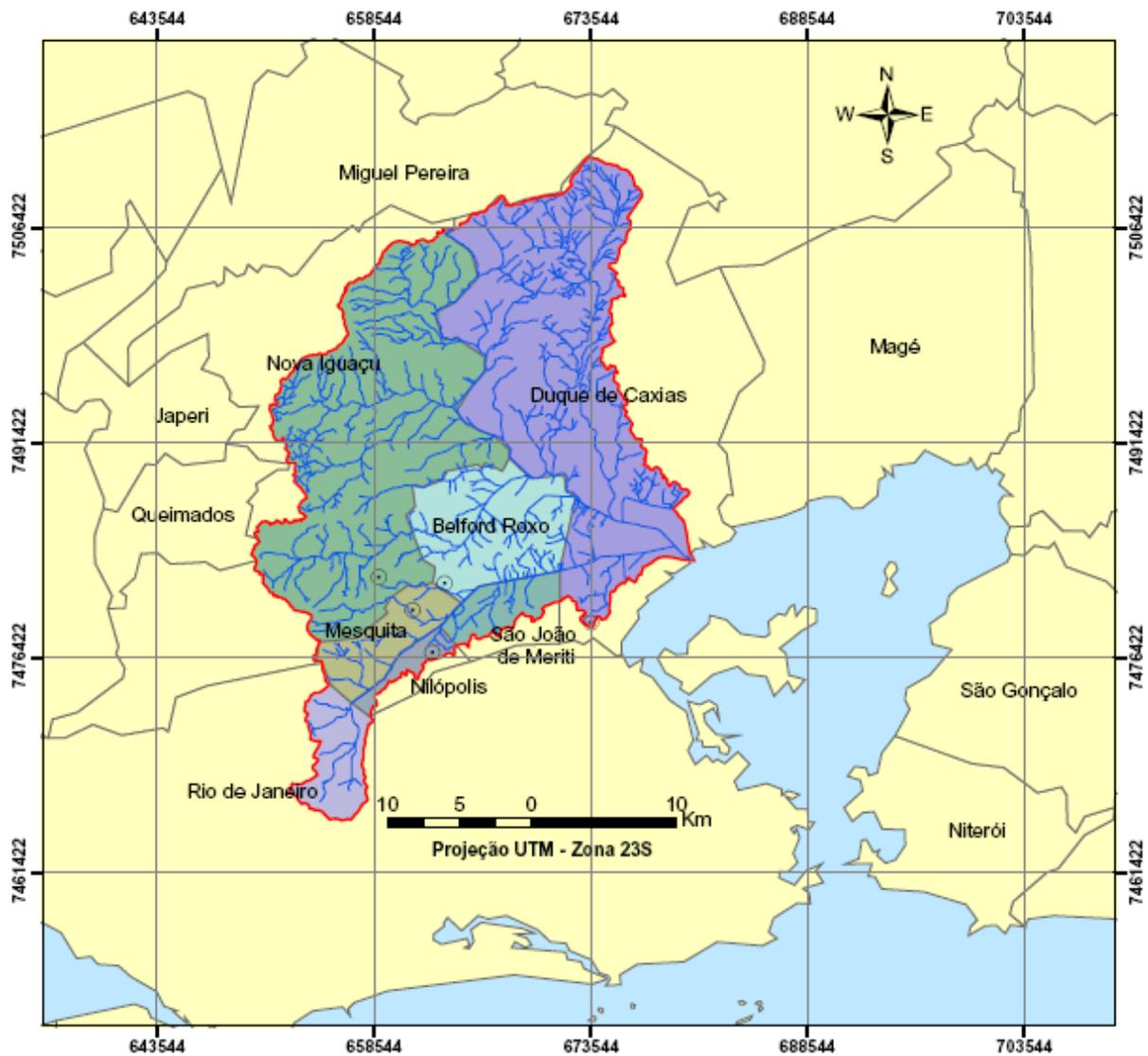
Situa-se na região de domínio da Mata Atlântica, que originalmente se estendia desde as cabeceiras dos rios Iguaçu e Sarapuí até os manguezais nas regiões sob influência das marés da Baía de Guanabara. Atualmente, apenas as serras, em suas partes mais altas, ainda apresentam resquícios dos ambientes primitivos, com florestas altas e densas, ainda que perturbadas em alguns pontos. Apesar da devastação das matas regionais, alguns remanescentes silvestres hoje constituem Unidades de Conservação (UC) como a Reserva Biológica de Tinguá; a Área de Proteção Ambiental do Gericinó-Mendanha; a Área de Proteção Ambiental do Iguaçu-Tinguá entre outras. Nas planícies, colinas e meias encostas das serras, existem esparsas áreas de vegetação secundária (capoeiras e capoeirinhas) e várzeas nas planícies temporariamente encharcadas.

Os manguezais, ecossistema drasticamente reduzido na região pelos cortes para lenha e sucessivos aterros para ocupação, encontram-se confinados a um pequeno trecho do estuário do rio Iguaçu. Sabe-se que a REDUC, localizada à margem esquerda e próxima à foz do rio Iguaçu, ocupou grande parte da área de ocorrência do primitivo manguezal. A destruição dos manguezais impactou diretamente a atividade pesqueira da região da Baía de Guanabara, devido à importância ecológica de tal ecossistema como berçário natural de diversas espécies marinhas.

As matas e florestas são indispensáveis ao equilíbrio e a regularidade dos sistemas fluviais da baía, e para a manutenção do nível hidrostático adequado dos lençóis freáticos da região, que abastecem os rios em períodos de estiagem. Adicionalmente, a retirada da vegetação agrava as dificuldades de drenagem já existentes na bacia do rio Iguaçu, uma vez que, que a cobertura vegetal é o mais eficiente fator de contenção da erosão.

A bacia do rio Iguaçu-Sarapuí abriga integralmente os municípios de Belford Roxo e Mesquita e parte dos municípios de Nilópolis (54%), São João de Meriti (66%), Nova Iguaçu (52%), Duque de Caxias (59%) e do Rio de Janeiro (2,6%)⁵, abrangendo os bairros de Bangu, Padre Miguel e Senador Câmara, conforme pode ser visualizado na figura abaixo.

⁵ *Porcentagens calculadas a partir da razão entre a área na bacia e a área total do município, adaptado do Projeto Iguaçu (1996).*



- MUNICÍPIO NA BACIA**
- Belford Roxo
 - Duque de Caxias
 - Mesquita
 - Nilópolis
 - Nova Iguaçu
 - Rio de Janeiro
 - São João de Meriti
- Sede Municipal na Bacia
 - Rios
 - Estado do Rio de Janeiro
 - Limite da Bacia

Figura 19. Bacia hidrográfica do rio Iguaçu-Sarapuí
Fonte: CARNEIRO (2008)

Segundo CARNEIRO (2008)⁶, a ocupação da bacia pode ser caracterizada segundo as seguintes formas: corpos d'água; campo antrópico; extração mineral; afloramento rochoso; várzea; capoeira; floresta; mangue; solo exposto; área urbana com densidade baixa; área urbana com densidade média-alta e indústria. A distribuição espacial das formas de uso e ocupação do solo é apresentada na **Figura 20**.

Entende-se como campo antrópico áreas recobertas por vegetação herbácea e campo sujo, resultantes de alteração antrópica da vegetação natural, utilizadas ou não pela pecuária. As classes de densidade urbana foram delimitadas em função do nível de cobertura do solo. A classe de densidade média- alta é caracterizada pela presença de áreas quase que totalmente construídas, já a classe baixa é caracterizada pela presença de lotes não ocupados.

⁶ Carneiro (2008) realizou uma atualização do mapeamento do uso do solo elaborado originalmente na ocasião do Projeto Iguaçu (1996). Seu trabalho justificou-se, não somente pelo tempo transcorrido desde o último mapeamento, como também pelas profundas transformações urbanas que se sucederam na Baixada Fluminense naquele período.

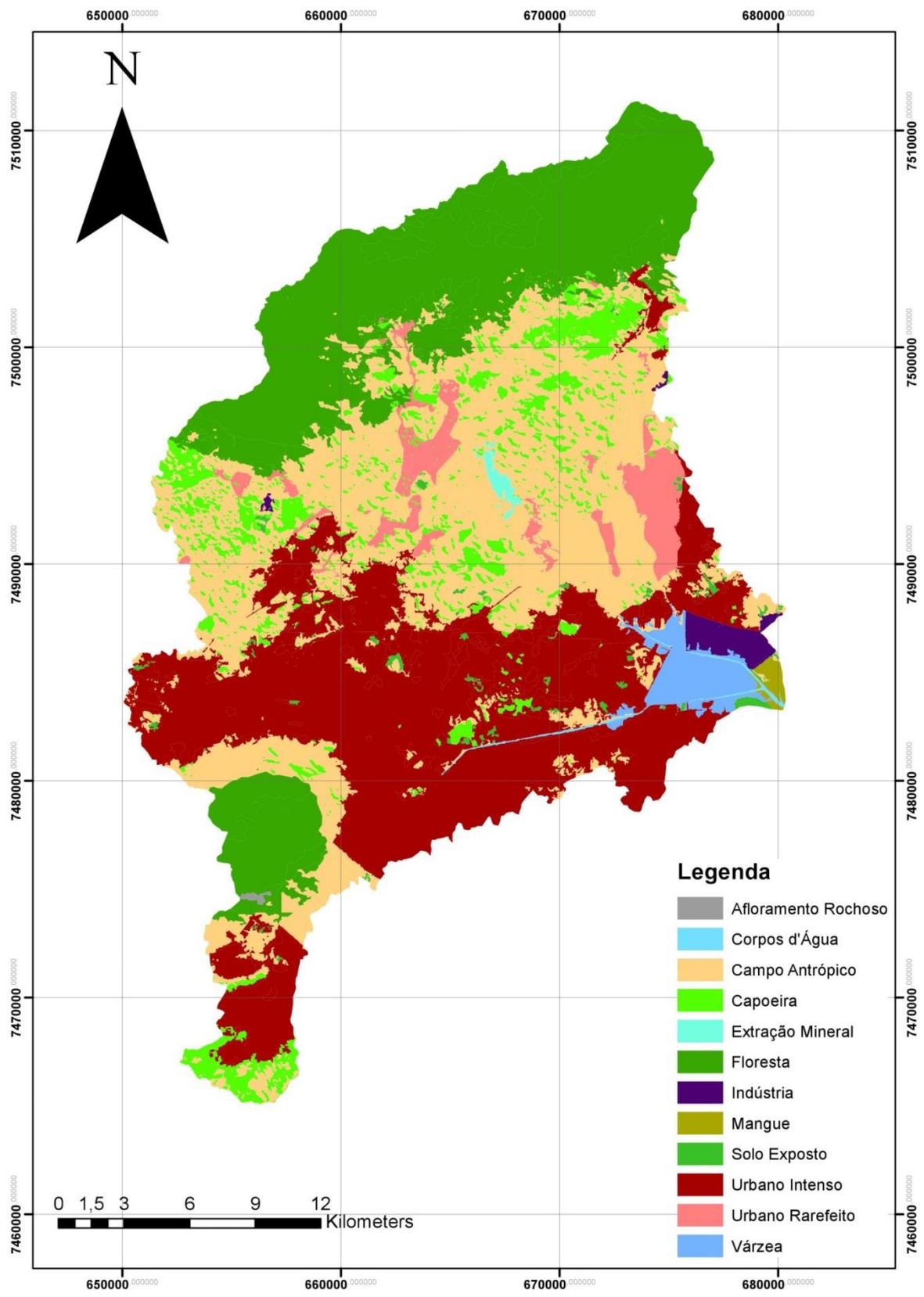


Figura 20. Distribuição das formas de uso e ocupação do solo na bacia do rio Iguazu-Sarapuá
Fonte: CARNEIRO (2008)

Na **Tabela 1** encontra-se a distribuição das formas de uso e ocupação do solo, em área e porcentagem na bacia Iguaçu-Sarapuí.

Tabela 1. Representatividade das classes de uso do solo da bacia do rio Iguaçu-Sarapuí

Uso do Solo	Área (km²)	Representatividade (%)
Campo Antrópico	222,02	30,3%
Área Urbana- densid. média-alta	221,80	30,3%
Floresta	174,23	23,8%
Capoeira	57,02	7,8%
Área Urbana - densid. baixa	26,31	3,6%
Várzea	13,93	1,9%
Indústria	6,57	0,9%
Solo Exposto	4,95	0,7%
Mangue	1,99	0,3%
Extração Mineral	1,83	0,3%
Corpos d'água	1,66	0,2%
Afloram. Rochoso	0,47	0,1%
Total	732,80	100,0%

Fonte: Adaptado de CARNEIRO (2008)

Para fins de caracterização da área urbana de média-alta densidade, segunda forma predominante de ocupação do solo na bacia, foram realizadas análises de imagens aéreas do *Google Earth/Street View* (GOOGLE,2016). Os pontos selecionados para análise encontram-se destacados na imagem a seguir e discriminados em coordenadas e endereços na **Tabela 2**.

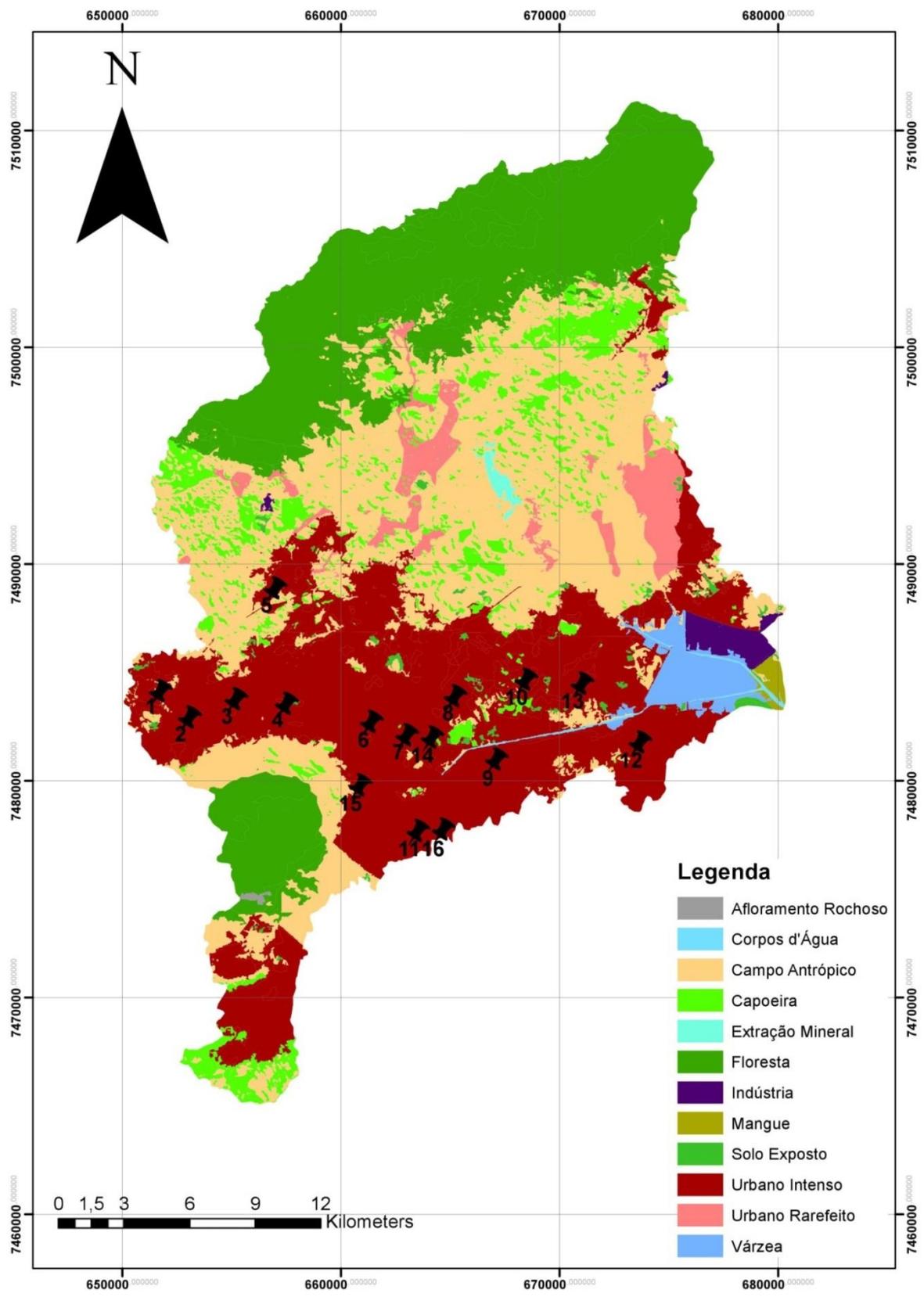


Figura 21. Pontos selecionados para análise de imagens
 Fonte: *Elaboração própria a partir do ArcMap (ESRI,2014)*

Tabela 2. Pontos selecionados para análise de imagens

Ponto	Coordenadas (UTM)	Endereço
1	651638.00 mE / 7483989.00mS	Rua Iolanda, Nova Iguaçu
2	652962.00mE/ 7482774.00 mS	Rua Otávio Moreira de Melo, Nova Iguaçu
3	655086.00mE / 7483629.00 mS	Rua Leonel Gouvêia, Nova Iguaçu
4	657385.00 mE/ 7483431.00 mS	Rua Jacutinga, Nova Iguaçu
5	656869.00 mE / 7488737.00 mS	Rua Ernesto Regattieri, Nova Iguaçu
6	661309.00 mE/ 7482580.00 mS	Avenida Monte Líbano, Nova Iguaçu
7	662908.00 mE /7481962.00 mS	Rua Danilo, Belford Roxo
8	665132.00 mE / 7483779.00 mS	Avenida Joaquim da Costa Lima, Belford Roxo
9	666935.00 mE / 7480848.00 mS	Rua Padre Viêira, São João de Meriti
10	668371.00 mE/ 7484518.00 mS	Rua Lages Brandão, Belford Roxo
11	663415.00 mE / 7477533.00 mS	Rua Natividade, Nilópolis
12	673559.00 mE/ 7481604.00 mS	Av. Francisco Faleiro de Freitas Lima, Duque de Caxias
13	670938.00 mE/ 7484347.00 mS	Estrada Aníbal da Mota, Belford Roxo
14	664063.00 mE / 7481879.00 mS	Rua Benjamin Pinto Dias, Belford Roxo
15	660799.00 mE / 7479675.56 mS	Rua Antônio Rodrigues Oliveira, Mesquita
16	664569.00 mE/ 7477609.00 mS	Rua Nair, São João de Meriti

Fonte: GOOGLE (2016)

Algumas imagens referentes a esses pontos, cujas peculiaridades merecem destaque, serão apresentadas a seguir. As demais se encontram no **Anexo I**.



Figura 22. Ponto 1: Rua Iolanda, Nova Iguaçu

Fonte: GOOGLE (2016)

A rua apresentada na **Figura 22** pode ser caracterizada como uma área urbana predominantemente residencial, sem asfalto e sistema de drenagem inexistente. Devido à ausência de pavimentação, uma maior parcela de água infiltra no solo, enquanto o excedente escoar superficialmente por gravidade até atingir um corpo

d'água próximo ou uma área de empoçamento. Observa-se acúmulo de material inerte (pedras e areia) próximo às casas.



Figura 23. Ponto 2: Rua Otávio Moreira de Melo, Nova Iguaçu
Fonte: GOOGLE (2016)

A rua apresentada na **Figura 23** pode ser caracterizada como uma área urbana predominantemente residencial e asfaltada, com escoamento superficial via sarjetas. Observa-se um acúmulo excessivo de lixos na rua, que poderão ser carreados por um evento de precipitação.



Figura 24. Ponto 10: Rua Lages Brandão, Belford Roxo
Fonte: GOOGLE (2016)

A rua apresentada na **Figura 24** pode ser caracterizada como uma área urbana predominantemente residencial e parcialmente asfaltada. Em sua esquina existe uma boca de lobo caracterizando um sistema de drenagem implantado. Observa-se um acúmulo de lixo na rua e empocamento de água devido ao mal estado de conservação do arruamento.



Figura 25. Ponto 11: Rua Natividade, Nilópolis
Fonte: GOOGLE (2016)

A rua apresentada na **Figura 25** pode ser caracterizada como uma área urbana predominantemente residencial e asfaltada. O escoamento superficial se dá pela sarjeta, onde há acúmulo de entulho e lixo. O pavimento encontra-se em mal estado de conservação, representando uma fonte potencial de poluentes a serem carreados no escoamento da água à medida que são desagregados fragmentos do mesmo.



Figura 26. Ponto 13: Estrada Aníbal da Mota, Belford Roxo
Fonte: GOOGLE (2016)

A rua apresentada na **Figura 26** pode ser caracterizada como uma área urbana predominantemente comercial e asfaltada. Em sua esquina existe uma entrada para a galeria de águas pluviais, caracterizando um sistema de drenagem implantado. A rua está aparentemente limpa e o pavimento em bom estado de conservação.



Figura 27. Ponto 14: Rua Benjamin Pinto Dias, Belford Roxo
Fonte: GOOGLE (2016)

A rua apresentada na **Figura 27** pode ser caracterizada como uma área urbana predominantemente comercial e asfaltada. A boca de lobo observada é um indicativo de sistema de drenagem implantado. Salvo alguns sacos plásticos espalhados pela

rua ela encontra-se razoavelmente limpa. De modo geral, observou-se durante a análise das imagens que as ruas comerciais não apresentavam acúmulos de lixo excessivos como na maioria das ruas residenciais. Isso pode ser justificado pelo fato de os próprios comerciantes efetuarem a varrição das calçadas, de modo a complementar os serviços públicos de limpeza urbana.

Conhecendo-se as formas predominantes de ocupação do solo na bacia e a correlação entre impermeabilização da superfície e alterações no volume e qualidade dos escoamentos produzidos, considerou-se relevante estimar a porcentagem de área impermeável na bacia. Para tanto, foi primeiramente selecionada uma região pertencente à categoria de uso do solo urbano de média-alta densidade, a partir de imagens aéreas do *Google Earth/Street View* (GOOGLE, 2016). Uma vez delimitada, foram identificadas as áreas consideradas permeáveis, ou seja, compostas por vegetação ou solo sem pavimentação. A imagem a seguir apresenta a região delimitada bem como as áreas identificadas como permeáveis, destacadas em verde.



Figura 28. Polígono representativo da área urbana de média-alta densidade para estimativa da porcentagem de impermeabilização do solo no município de Nova Iguaçu
Fonte: GOOGLE (2016)

Utilizando-se a ferramenta *EARTH POINT (2016)*, foram calculadas as áreas delimitadas, sendo a área da região analisada igual a 77.625 m² e a soma das áreas permeáveis igual a 5.841 m². Dessa forma, a porcentagem de área permeável corresponde a 8% e extrapolando tal resultado para o restante das áreas urbanas de alta-média densidade estima-se que 92% do solo seja impermeável.

O mesmo procedimento foi realizado para estimar a porcentagem de impermeabilização nas áreas urbanas de baixa densidade. A imagem a seguir apresenta a região delimitada bem como as áreas identificadas como permeáveis, destacadas em verde.



Figura 29. Polígono representativo da área urbana de baixa densidade para estimativa da porcentagem de impermeabilização do solo no município de Duque de Caxias.

Fonte: GOOGLE (2016)

A área calculada do polígono demarcado foi de 175.674 m² e a soma das áreas permeáveis correspondeu a 50.907 m². Dessa forma, a porcentagem de área permeável é de 29% e extrapolando tal resultado para o restante das áreas urbanas de baixa densidade estima-se que 71% do solo seja impermeável. De fato, pode-se confirmar pela visualização das imagens apresentadas que as áreas verdes são mais significativas neste caso do que no anterior.

Conforme a **Tabela 1**, 221,80 km² correspondem às áreas urbanas de média-alta densidade. Logo, 204,06 km² são considerados impermeáveis (92%). Quanto às áreas urbanas de baixa densidade, que totalizam 26,31 km², estima-se que 18,68 km² sejam

impermeáveis (71%). Sendo assim, as áreas urbanas somam 222,74 km² de áreas impermeáveis e considerando que todas as outras formas de ocupação do solo sejam integralmente permeáveis, ao relacionar esse valor com a área total da bacia, estima-se uma porcentagem de impermeabilização na bacia Iguaçu – Sarapuí de 30,4%.

Ressalta-se que o sensoriamento remoto (SR) é uma ferramenta de uso bastante difundido e que possibilita a realização de estimativas de distribuição espacial, como forma de embasamento para interpretações. No entanto, a coleta de dados de campo é fundamental para reduzir incertezas e dirimir as dúvidas que o SR por si só não pode resolver.

Visando avaliar a efetividade do procedimento adotado e para fins comparativos será apresentada uma relação entre densidade populacional e área impermeável desenvolvida por CAMPANA e TUCCI (1994). Tal relação tem sido utilizada largamente no Brasil para prognóstico da futura área impermeável de uma bacia hidrográfica. Sabe-se que a impermeabilização do solo aumenta com a densificação da população na medida em que são criadas ruas, calçadas e telhados, entre outros. A relação entre essas duas variáveis foi estabelecida a partir da análise de imagens das cidades de Porto Alegre, São Paulo e Curitiba. Observou-se, no estudo, que as áreas predominantemente comerciais e industriais não apresentavam as mesmas tendências, que a topografia poderia alterar a forma de ocupação e ainda que as pequenas áreas, inferiores a 2 km², mostravam distorções devido a mistos de edifícios com áreas verdes.

A densidade habitacional é um fator socioeconômico, enquanto que a área impermeável depende da infraestrutura urbana e da ocupação do solo pela população. Dessa forma, as relações entre essas variáveis podem mudar ao longo do tempo devido à alteração do número de pessoas por unidade habitacional, do padrão de impermeabilização dos espaços novos ou ainda ao aprimoramento das imagens e métodos de estimativa. Visando atualizar a relação entre área impermeável e densidade populacional, MENEZES FILHO e TUCCI (2012) analisaram imagens de alta resolução de doze bairros da cidade de Porto Alegre. As imagens foram classificadas visualmente definindo-se duas classes principais, uma permeável caracterizada por vegetação e solo exposto e outra classe impermeável composta por subclasses como: asfalto; cobertura cerâmica; cobertura concreto; cobertura metálica e água. As relações atualizadas bem como aquelas obtidas com os dados da década de 90 são apresentadas na **Figura 30**.

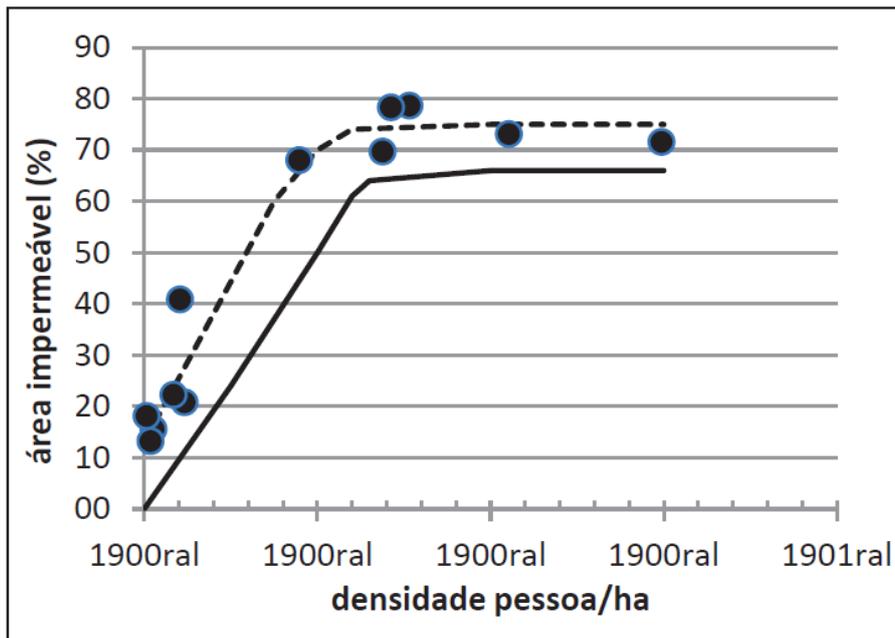


Figura 30. Área impermeável (%) X densidade populacional (pessoas/ha). A curva tracejada reflete a atualização da relação para a cidade de Porto Alegre.
 Fonte: MENEZES FILHO e TUCCI (2012)

Constata-se que a curva com os dados mais recentes se deslocou para cima, com a assíntota em 75% de áreas impermeáveis, o que indica uma maior impermeabilização. Ainda, a inclinação da reta se alterou aumentando a área impermeável para a mesma densidade populacional, ou seja, aumentando a área ocupada por habitante. A equação da reta para densidades habitacionais inferiores a 100 hab/ha é apresentada a seguir.

$$A_i = 0,57 D + 13 \quad \text{(Equação 1)}$$

Sendo:

A_i = Área impermeável (%)

D = densidade habitacional (hab/ha)

A densidade habitacional da bacia do rio Iguaçu-Sarapuí pode ser encontrada a partir da área total dos municípios e da porcentagem deles pertencente à bacia. Conhecendo-se as densidades demográficas de cada município calculou-se uma densidade demográfica de 28,93 habitantes por hectare. A aplicação da **equação 1** aos dados de ocupação da bacia, resulta em uma área impermeável igual a 29,5%, valor próximo ao encontrado anteriormente, de 30,4%. Tal resultado confirma a estimativa previamente realizada a partir da análise de imagens aéreas representativas de áreas urbanas de média-alta e baixa densidades.

3.2 Demográfica e Social dos Municípios

A área de drenagem da bacia Iguçu-Sarapuí é ocupada pelos municípios de Nova Iguaçu; Mesquita; Duque de Caxias; Nilópolis; Belford Roxo; São João de Meriti e uma pequena parte do Rio de Janeiro. Desses municípios, apenas Mesquita e Belford Roxo encontram-se totalmente dentro dos limites da bacia. A população residente total dos municípios é de cerca de 9,2 milhões, estando ela distribuída majoritariamente, se não completamente, em área urbana, conforme apresentado na **Tabela 3.**

Tabela 3. Dados demográficos dos municípios que ocupam a bacia do rio Iguçu-Sarapuí

Município	Pop. Residente	Pop. Residente Urbana		Área Total (km ²)	Densidade Demográfica (hab./km ²)
	Total (hab.)	Total (hab.)	Porcentagem (%)		
Belford Roxo	469.332	469.332	100	77,8	6.031,38
Duque de Caxias	855.048	852.138	99,7	467,6	1.828,51
Mesquita	168.376	168.376	100	39,1	4.310,48
Nilópolis	157.425	157.425	100	19,4	8.117,62
Nova Iguaçu	796.257	787.563	98,9	521,2	1.527,60
Rio de Janeiro	6.320.446	6.320.446	100	1.200,3	5.265,81
São João de Meriti	458.673	458.673	100	35,2	13.024,60

Fonte: IBGE (2010)

Os municípios da Baixada Fluminense apresentam um quadro geral deficitário de saneamento básico, conforme demonstra os índices de atendimento aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, disponibilizados pelo Sistema Nacional de Saneamento Ambiental (SNIS) para o ano de 2014.

Tabela 4. Índices de atendimento aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Munic.	Abastecimento de Água			Esgotamento Sanitário		
	Índice de atendim. urbano (%)	Consumo médio per capita (l/hab.dia)	Índice de perdas na distribuição (%)	Índice de atendim. urbano* (%)	Índice de coleta (%)	Índice de tratam. (%)
Belford Roxo	80,05	226,62	44,34	40,89	38,68	88,74
Duque de Caxias	86,56	222,31	37,6	44,51	35,92	13,38
Mesquita	96,47	161,34	52,24	43,78	32,07	21,91
Nilópolis	99,79	221,71	36,15	99,79	76,22	0

Munic.	Abastecimento de Água			Esgotamento Sanitário		
	Índice de atendim. urbano (%)	Consumo médio per capita (l/hab.dia)	Índice de perdas na distribuição (%)	Índice de atendim. urbano*	Índice de coleta (%)	Índice de tratam. (%)
Nova Iguaçu	93,76	237,87	39,08	45,62	35,9	0,15
Rio de Janeiro	91,62	329,54	28,59	65,4	56,79	81,64
S. J. de Meriti	92,72	207,43	45,5	48,85	42	0

* de esgoto referido aos municípios atendidos com água

Fonte: SNIS (2014a)

Em relação ao abastecimento de água, apesar de todos os municípios apresentarem índices de atendimento urbano superiores a 80%, são conhecidos os problemas relativos à frequência irregular do abastecimento; da falta de pressão na rede; dos elevados índices de perdas na distribuição e principalmente da má qualidade da água que chega às residências. Problemas de interrupção e irregularidade no abastecimento implicam na adoção de soluções alternativas por parte dos moradores, que muitas vezes retiram água de poços e acabam por consumir água contaminada, o que justifica os frequentes casos de doenças de veiculação hídrica na população.

A situação dos serviços de esgotamento sanitário, tanto em termos dos sistemas de coleta, quanto no que tange ao tratamento dos efluentes é ainda mais precária. Segundo os dados apresentados, com exceção dos municípios de Nilópolis e Rio de Janeiro, os demais apresentam índices de coleta de esgotos inferiores a 50%. Destaca-se que os esgotos coletados em Nilópolis e São João do Meriti não sofrem qualquer tratamento, e que em Nova Iguaçu o índice de tratamento é de apenas 0,15%. Em Belford Roxo e no Rio de Janeiro, apesar dos índices de coleta de esgoto insatisfatórios, mais de 80% do que é coletado segue para tratamento. Em zonas precárias dessas localidades, os esgotos correm a céu abertos e os efluentes sanitários acabam chegando in natura à Baía de Guanabara, receptora natural de todos os rios, canais e galerias.

Dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2000 (IBGE, 2002) demonstraram que em 75% dos distritos municipais que compõe a Região Metropolitana do Rio de Janeiro e que tinham na ocasião rede coletora de esgotos, não existia sistema separador, sendo os esgotos ligados à rede de drenagem. Em função do baixo índice de coleta de esgotos, as estações de tratamento de esgotos previstas no PDBG, depois de implantadas, encontram-se subutilizadas por operarem a vazões inferiores às planejadas, já que mesmo nas áreas esgotadas, as ligações domiciliares à rede de esgotos ainda são insuficientes.

Em relação à coleta de lixo, são apresentados na tabela a seguir dois indicadores consultados no SNIS e relativos a 2014: a porcentagem da população urbana que tem seu resíduo domiciliar coletado e a porcentagem dessa população atendida pelo serviço de coleta domiciliar direta, ou seja, porta-a-porta, não incluindo portanto, a população atendida por caçambas estacionárias, fato comum em locais de urbanização precária. Na ocasião da consulta, não foram disponibilizados dados relativos ao município de Belford Roxo.

Tabela 5. Taxas de cobertura do serviço de coleta domiciliar em relação à população urbana

Município	Taxa de cobertura do serviço de coleta domiciliar em relação à pop. urbana (%)	
	Total	Direta (Porta-a-Porta)
Duque de Caxias	100	90,15
Mesquita	100	100
Nilópolis	100	100
Nova Iguaçu	100	95,89
Rio de Janeiro	100	77,97
São João de Meriti	100	100

Fonte: SNIS (2014b)

É possível observar que o serviço de coleta domiciliar, direta e/ou indireta, é ofertado para toda a população urbana residente nos municípios analisados, apesar das eventuais irregularidades na frequência das coletas. Considera-se como atendimento adequado, em áreas urbanas, a coleta direta diária ou com frequência mínima de dias alternados, seguida pela destinação ambientalmente adequada dos resíduos (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2014). No entanto, apenas em Mesquita, Nilópolis e São João de Meriti a população urbana é integralmente atendida pela coleta porta-a-porta.

Ressalta-se que mesmo em relação às áreas com melhores níveis de urbanização, uma significativa quantidade de lixo é descartada em terrenos baldios, nos rios, nas margens e nas encostas, por um lado, devido à ineficiência do sistema de coleta, que não cobre satisfatoriamente toda a área urbana, por outro lado, devido à desinformação e descaso da população residente acerca dos danos acarretados por esse comportamento (CARNEIRO, 2008).

4 Método da Regressão Múltipla de DRIVER e TASKER para Avaliação Quantitativa da Poluição Difusa

DRIVER e TASKER (1990) desenvolveram quatro conjuntos de modelos regressivos lineares para estimar a carga; a concentração média; a carga média anual (ou sazonal) dos poluentes constituintes dos escoamentos superficiais e, ainda, o volume dos escoamentos em bacias hidrográficas urbanas dos Estados Unidos. Foram desenvolvidos trinta e quatro modelos de regressão para a carga de poluentes e para o volume, e 31 modelos para a concentração média de poluentes. Utilizando modelos de regressão linear para locais específicos, foram desenvolvidos dez modelos para estimar a carga média anual ou sazonal de poluentes através da análise de longos registros históricos de eventos chuvosos.

O presente trabalho se deterá nos modelos de regressão desenvolvidos para estimativa do volume dos escoamentos e da carga de poluentes associados a ele, expressos originalmente em pés cúbicos (ft³) e em libras (lbs), respectivamente. Tais modelos foram desenvolvidos para onze tipos de constituintes, a saber: demanda química de oxigênio (DQO); sólidos em suspensão (SS); sólidos dissolvidos (SD); nitrogênio total (NT); amônia total mais nitrogênio orgânico (NKT); fósforo total (PT); fósforo dissolvido (PD); cádmio recuperável total (CD); cobre recuperável total (CU); chumbo recuperável total (PB) e zinco recuperável total (ZN).

Os dados utilizados para o desenvolvimento dos modelos foram disponibilizados pelas bases da *U.S. Geological Survey* e da *U.S. Environmental Protectional Agency* (EPA). Tais instituições conduziram, ao longo de anos, programas para coleta e análise de eventos de precipitação, escoamentos superficiais e qualidade de água de inúmeras cidades nos Estados Unidos, a fim de consolidar uma base de dados útil ao planejamento e zoneamento das cidades. A análise dos dados disponíveis e o desenvolvimento dos modelos considerou a divisão dos Estados Unidos em três regiões segundo a média anual de precipitação. Na região I foram agrupadas as áreas urbanas com média de precipitação anual inferior a 20 polegadas, na região II as áreas com média anual de precipitação entre 20 e 40 polegadas e por fim a região III foi definida pelas áreas com médias anuais superiores a 40 polegadas.

Os modelos foram desenvolvidos a partir de variáveis, ditas explicativas, mensuráveis e capazes de expressar as características físicas, de uso do solo e climáticas da área urbana estudada. Dessa forma, os eventos de precipitação foram selecionados do banco de dados de acordo com a disponibilidade de variáveis específicas. Assim, quando uma variável selecionada para análise estava indisponível para um evento, o evento em questão foi desconsiderado. Na **Tabela 6** são

apresentadas as variáveis explicativas utilizadas nos modelos de regressão em questão.

Tabela 6. Variáveis explicativas utilizadas nos modelos de regressão linear para estimativa da carga de poluentes nos escoamentos urbanos

Características	Símbolo	Descrição
Físicas e de Uso do solo	DA	Área de drenagem, em mi ² (ou km ²)
	IA	Área impermeável, percentual de DA
	LUI	Uso do solo industrial, percentual de DA
	LUC	Uso do solo comercial, percentual de DA
	LUR	Uso do solo residencial, percentual de DA
	LUN	Uso do solo não urbano, percentual de DA
	DP	Densidade populacional, em hab/mi ² (ou hab/km ²)
Climáticas	TRN	Total precipitado por evento, em pol (ou mm)
	DRN	Duração do evento, em min.
	INT	Intensidade máxima da precipitação de 24 hs, que possua tempo de retorno de 2 anos, em pol (ou mm)
	MNL	Carga média anual de N na precipitação, em lbs/acre (ou kg/ha)
	MAR	Precipitação média anual, em pol (ou mm)
	MJT	Temperatura média mínima do mês de janeiro, em °F (ou °C)

Fonte: Adaptado de DRIVER e TASKER (1990)

As variáveis explicativas para cada modelo de regressão foram selecionadas utilizando procedimentos de regressão do tipo “stepwise”, utilizando um sistema ou pacote de análise estatística comercial. O critério principal para a seleção do conjunto mais apropriado de variáveis foi o de possuir coeficiente de regressão significativamente diferente de zero em um nível de cinco por cento (PRODANOFF, 2005). Adicionalmente, foram identificadas quais variáveis apresentavam forte correlação entre si, de modo a não combiná-las em um mesmo modelo. Dessa forma, a área impermeável e as variáveis indicativas de percentual de uso do solo não foram combinadas no mesmo modelo por expressarem processos físicos semelhantes.

Os modelos de regressão linear “ótimos” foram determinados pela utilização de análise de regressão múltipla, incluindo as técnicas de mínimos quadrados. Em todos os modelos regressivos a melhor transformação para a variável de resposta foi a logarítmica, conforme a **equação 2**, apresentada a seguir.

$$\log \hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \times \log X_1 + \hat{\beta}_2 \times \log X_2 + \dots + \hat{\beta}_n \times \log X_n \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:

\hat{Y} = carga estimada do poluente, em lbs ou volume, em ft³ (variável de resposta);

$\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\beta}_n$ = coeficientes de regressão;

$X_1, X_2 \dots X_n$ = variáveis explicativas;

n = número de características físicas, de uso do solo ou climáticas;

“Destransformando” a **equação 2**, chega-se a uma equação aplicável para o cálculo do volume e da carga de poluentes nos escoamentos, conforme apresentado a seguir. Vale destacar que um fator de correção, BCF, foi calculado para cada modelo.

$$\hat{Y} = \hat{\beta}'_0 \times X_1^{\hat{\beta}_1} \times X_2^{\hat{\beta}_2} \dots X_n^{\hat{\beta}_n} \times \text{BCF} \quad \text{(Equação 3)}$$

Sendo: $\hat{\beta}'_0 = 10^{\hat{\beta}_0}$

Os parâmetros utilizados nas equações variam de região para região e conforme o poluente constituinte analisado. Todos os poluentes estão listados, seguidos por RUN, ou volume de *runoff*. Na **Tabela 7** são apresentados os coeficientes de regressão a serem aplicados em cada variável explicativa, bem como os fatores de conversão de unidades métricas. Vale ressaltar que o estudo original foi desenvolvido em unidades inglesas, logo, é necessário converter os dados de entrada de unidades métricas para unidades inglesas.

Tabela 7. Coeficientes de regressão e fatores de conversão de unidades a serem aplicados nos modelos de regressão para volume e carga de poluentes

Variável de Resposta e Região	$\hat{\beta}_0'$	TRN (pol)	DA (mi ²)	IA + 1 (%)	LUI + 1 (%)	LUC +1 (%)	LUR + 1 (%)	LUN + 2 (%)	DP (hab/mi ²)	DRN (min)	INT (pol)	MAR (pol)	MNL (lbs N/ acre)	MJT (°F)	BCF
COD I	7.111	0,671	0,617	-	0,415	0,267	-	-0,156	-	-	-	-0,683	-	-	1,304
COD II	36,6	0,878	0,696	-	0,072	0,261	-	-0,056	-	-	-	0,866	-	-	1,389
COD III	479	0,857	0,634	-	0,321	0,217	-	-0,111	-	-	-	-	-	-	1,865
SS I	1.518	1,211	0,735	-	-	-	-	-	-	-0,463	-	-	-	-	2,112
SS II	2.032	1,233	0,439	0,274	-	-	-	-	0,041	-	-	-	-	-0,590	1,841
SS III	1.990	1,017	0,984	-	0,226	0,228	-	-0,286	-	-	-	-	-	-	2,477
DS I	54,8	0,585	1,356	1,383	-	-	-	-	-	-	-	-0,718	-	-	1,239
DS II	2.308	1,076	1,285	1,348	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,395	1,208
TN I	1.132	0,798	0,96	-	0,462	0,260	-	-0,194	-	-	-	-0,951	-	-	1,139
TN II	3,173	0,935	0,939	0,672	-	-	-	-	-	-	-	-	0,196	-	1,372
TN III	0,361	0,776	0,474	0,611	-	-	-	-	-	-	-	-	0,863	-	1,709
TKN I	18,9	0,670	0,831	-	0,378	0,258	-	-0,219	-	-	-	-	1,35	-	1,206
TKN II	2,89	0,906	0,768	0,545	-	-	-	-	-	-	-	-	0,225	-	1,512
TKN III	199.572	0,875	0,393	-	-	-	-	0,082	-	-	-	-2,643	-	-	1,736
TP I	262	0,828	0,645	-	0,583	0,181	-	-0,235	-	-	-	-1,376	-	-	1,548
TP II	0,153	0,986	0,649	0,479	-	-	-	-	-	-	1,543	-	-	-	1,486
TP III	53,2	1,019	0,846	-	-	0,189	0,103	-0,160	-	-	-	-	-	-0,754	2,059
DP I	588	0,808	0,726	-	0,642	0,096	-	-0,238	-	-	-	-1,899	-	-	1,407
DP II	0,025	0,914	0,699	0,649	-	-	-	-	-	-	1,024	-	-	-	1,591
DP III	0,369	0,955	0,471	-	-	-	-	0,364	-	-	-	-	-	-	2,027
CD I	0,039	0,845	0,753	-	0,138	0,248	-	-0,374	-	-	-	-	-	-	1,244
CD II	0,005	1,168	1,265	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,965	1,212
CU I	0,141	0,807	0,590	-	0,424	0,274	-	-0,061	-	-	0,928	-	-	-	1,502
CU II	0,013	0,504	0,585	0,816	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,534
CU III	4,508	0,896	0,609	-	0,648	0,253	-	-0,328	-	-	-2,071	-	-	-	2,149
PB I	478	0,764	0,918	-	-0,161	0,276	-	-0,282	-	-	-	-1,829	-	-	1,588
PB II	0,076	0,833	0,381	-	-	0,243	0,087	-0,181	-	-	-	0,574	-	-	1,587
PB III	0,081	0,852	0,857	0,999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,314
ZN I	224	0,745	0,792	-	-	0,172	-0,195	-0,142	-	-	-	-1,355	-	-	1,444
ZN II	0,002	0,796	0,667	1,009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,149	1,754
ZN III	4,355	0,830	0,555	-	0,402	0,287	-0,191	-	-	-	-	-	-	-0,500	1,942
RUN I	1.123.052	1,016	0,916	0,677	-	-	-	-	-	-	-	-1,312	-	-	1,299
RUN II	62.951	1,127	0,809	0,522	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,212
RUN III	32.196	1,042	0,826	0,669	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,525

Fonte: Adaptado de DRIVER e TASKER (1990)

Observa-se que alguns coeficientes de regressão apresentam sinal negativo, o que indica uma relação inversa entre a variável explicativa e a carga do poluente. Essa relação para algumas variáveis necessita de justificativas. O sinal negativo no coeficiente da variável duração da precipitação está relacionado ao fato de que precipitações mais curtas tendem a ser mais intensas e resultar em maiores cargas de poluentes nos escoamentos superficiais. As médias anuais de precipitação genericamente apresentam relação inversa com as cargas, o que indica que longos períodos entre eventos de precipitação resultam em maior quantidade de resíduo a ser lavado das superfícies impermeáveis a cada evento de chuva, portanto, menores médias anuais de precipitação resultam em maiores cargas poluidoras. Destaca-se ainda, que a variável menor temperatura no mês de janeiro apresentou coeficiente negativo em função da disposição de sal nas rodovias da região no inverno, efeito não aplicável à realidade brasileira.

O grau de adequação do ajuste do modelo de regressão aos dados e a acurácia das estimativas foram analisados através dos coeficientes de determinação múltipla (R^2) e dos erros padrão de estimativa. De um modo geral, R^2 varia entre 0 e 1 e indica, em porcentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Assim, quanto maior o valor de R^2 , mais explicativo é o modelo e melhor ele se ajusta à amostra. Já o erro padrão de estimativa é o desvio padrão da regressão, logo, mede o desvio médio entre os valores reais e os valores estimados. Assim, quanto menor esse desvio, mais precisa será a previsão.

Os fatores que se mostraram mais significativos em todos os modelos de regressão linear foram a precipitação total por evento (TRN) e a área de drenagem (DA), apesar de a área impermeável, os usos do solo e as características climáticas médias anuais também apresentarem destaque em alguns modelos. Quanto à acurácia, os modelos para estimar as cargas de sólidos dissolvidos, nitrogênio total e nitrogênio Kjeldahl foram os mais precisos, enquanto que os modelos para SS apresentaram comportamento inverso. De modo geral, os modelos utilizados para estimativa de volume se mostraram mais acurados quando comparados aos de carga de poluentes. Ainda, os modelos aplicados para as áreas mais úmidas do país foram menos precisos quando comparados aos aplicados em áreas mais áridas, em função da limitação na base de dados relativos à região III.

Idealmente, o volume e a qualidade dos escoamentos superficiais resultantes dos eventos de precipitação deveriam ser determinados através de medição direta. Diante dos entraves existentes a iniciativas de monitoramento, os modelos de regressão podem representar uma alternativa que possibilita realizar estimativas preliminares e conseqüentemente dar suporte ao planejamento de ações de controle

da poluição difusa. No entanto, a sua aplicação bem como a interpretação dos resultados estão sujeitas a algumas limitações.

Os modelos de regressão podem explicar apenas os efeitos das variáveis estatisticamente significativas e empregadas neles. Dessa forma, os resultados obtidos não explicam, por exemplo, o efeito de dada fonte (pontual) industrial de poluição que possa estar presente na área analisada, uma vez que no modelo não são empregadas variáveis relacionadas a essa fonte. Ainda, a correlação entre variáveis explicativas deve ser interpretada com cuidado, uma vez que a utilização de variáveis substitutivas em um mesmo modelo pode comprometer a acurácia do resultado.

Vale ressaltar que esses modelos foram desenvolvidos nos anos noventa e com base em medições realizadas em trinta áreas metropolitanas distribuídas no território americano. Apesar disso, a sua aplicação em uma área localizada em Nova Iguaçu, conforme a proposta do presente trabalho justifica-se pela ausência de dados relativos às enxurradas em meio urbano necessários ao desenvolvimento de um modelo regional. Dessa forma, objetiva-se realizar uma estimativa preliminar do volume e da carga de poluentes presentes no *runoff* considerando as características físicas, de uso do solo e climáticas da área de estudo. Possivelmente, caso essa carga poluidora fosse quantificada por medição direta ela seria ainda maior do que os valores estimados, uma vez que, mesmo na década de noventa, os serviços de saneamento básico prestados nos Estados Unidos demonstravam ser mais efetivos do que os verificados atualmente na Baixada Fluminense (Item 3.2). Nos itens seguintes são apresentadas as variáveis levantadas para aplicação dos modelos de regressão no caso específico do estudo de caso.

5 Estudo de Caso

Os modelos de regressão múltipla de DRIVER e TASKER (1990) foram desenvolvidos para pequenas bacias urbanizadas. Considerando-se que a bacia do rio Iguaçu-Sarapuí abrange uma área equivalente a 282,93 km², foi selecionada uma região pertencente a ela com área inferior a 2 km², de forma a caracterizar uma pequena bacia e possibilitar a obtenção de estimativas mais precisas das cargas poluidoras.

5.1 Identificação da Área de Estudo

Foi selecionada uma área de 0,26 km² localizada no município de Nova Iguaçu com densidade de ocupação urbana entre média e alta. Geralmente, nessas formas de ocupação são gerados maiores escoamentos superficiais e maiores cargas poluidoras decorrentes da maior impermeabilização do solo. A área de estudo encontra-se destacada na **Figura 31**.



Figura 31. Área de estudo delimitada
Fonte: GOOGLE (2016)

5.2 Variáveis Explicativas

As variáveis explicativas utilizadas nos modelos de regressão são capazes de expressar características físicas, de uso do solo e climáticas.

5.2.1 Físicas e de Uso do Solo

- Área de Drenagem (DA)

A área de drenagem equivale à área delimitada para o estudo de caso, ou seja, 256.752 m² ou 0,26 km².

- Densidade Populacional (DP)

A área delimitada está inserida no município de Nova Iguaçu, conforme apresentado na **Tabela 3**, a densidade populacional corresponde a 1.527,60 habitantes/km².

- Estimativa de Área Impermeável (IA)

Utilizando-se o mesmo procedimento empregado para estimar a porcentagem de áreas impermeáveis na bacia do rio Iguaçu-Sarapuí (**Item 3.1**), foram identificadas, via *Google Earth/Street View* (GOOGLE, 2016), as áreas consideradas permeáveis (vegetação, solo exposto e campos de areia) pertencentes à região de estudo. (**Figura 32**)



Figura 32. Demarcação das áreas consideradas permeáveis para estimativa da porcentagem de impermeabilização do solo na região de estudo
Fonte: GOOGLE (2016)

Utilizando-se o *EARTH POINT* (2016) para cálculo das áreas demarcadas consideradas permeáveis, elas totalizaram 40.058 m², o que corresponde a 15,6% da

região analisada. Dessa forma, a porcentagem de área impermeável estimada é de 84,4%.

- Formas de Uso e Ocupação do Solo (LUI, LUC, LUR, LUN)

Dentre as formas de uso e ocupação do solo utilizadas no desenvolvimento dos modelos de regressão destacam-se: o uso do solo industrial (LUI); comercial (LUC); residencial (LUR) e não urbano (LUN), todas representando uma porcentagem da área total de drenagem (DA).

A partir da análise de imagens do *Google Earth/Street View* (GOOGLE, 2016) constatou-se a inexistência de indústrias no local, logo a porcentagem de uso industrial corresponde a 0%. Verificou-se que a área é integralmente urbana, portanto a porcentagem de uso não urbano é nula. De modo geral, na Baixada Fluminense, as áreas comerciais se concentram nas vias principais, enquanto que as ruas paralelas a elas são predominantemente residenciais com apenas alguns pontos de comércio isolados, como bares e mercadinhos. Diante desta observação e dada a falta de um maior detalhamento nos mapeamentos de uso do solo realizados na bacia, foi atribuída ao uso do solo comercial a representatividade de 2%, enquanto 98% corresponderia à ocupação residencial.

5.2.2 Climáticas

- Total Precipitado no Evento (TRN)

Para estimativa preliminar do volume e das cargas de poluentes transportados pelos escoamentos superficiais, foi selecionada uma precipitação efetiva de meia polegada, uma vez que, 90% dos poluentes são transportados durante a passagem da primeira meia polegada de escoamento efetivo, segundo a regra da “*half-inch*” (PRODANOFF,2005).

No entanto, a variável de entrada dos modelos de regressão considera a precipitação total. Sabe-se que a chuva efetiva é aquela que se transforma em escoamento superficial ou direto e pode ser calculada através da equação:

$$P_{efetiva} = P_{total} \times C \quad \text{(Equação 4)}$$

Sendo:

$P_{efetiva}$ - precipitação efetiva em mm ou polegadas;

P_{total} – precipitação total em mm ou polegadas;

C- coeficiente de *runoff*

O coeficiente de *runoff* pode ser obtido a partir da área impermeável através da equação (CWP, 2001):

$$C = 0,05 + 0,9 \times IA \quad \text{(Equação 5)}$$

Sendo:

C- coeficiente de *runoff* (adimensional);

IA – área impermeável (em valores decimais)

Sabendo-se que a porcentagem de área impermeável na região estudada é igual a 84,4%, tem-se que $C \approx 0,80$. Assim, a precipitação total que corresponde à chuva efetiva de meia polegada, neste caso, é igual a 0,625 polegadas ou 15,88 mm.

- Duração da Precipitação (DRN)

Segundo as instruções técnicas para elaboração de projetos de drenagem (RIO-ÁGUAS, 2010), o tempo de duração da precipitação é igual ao tempo de concentração da bacia, para o dimensionamento de estruturas de microdrenagem. Sugere-se que o tempo de concentração em bacias urbanizadas com construções densas e sarjetas com declividade inferior a 3% seja da ordem de 10 minutos. Logo, a duração da precipitação equivale a 10 minutos.

- Intensidade Máxima da Precipitação de 24 hs com TR= 2 anos (INT)

A variável explicativa referente à intensidade máxima da precipitação de 24 horas com tempo de retorno de 2 anos foi determinada a partir da aplicação da equação de chuvas intensas (IDF) válida para o município do Rio de Janeiro (RIO-ÁGUAS, 2010), apresentada a seguir.

$$i = \frac{a TR^b}{(t+c)^d} \quad \text{(Equação 6)}$$

Sendo:

i = intensidade pluviométrica em mm/hora;

TR= tempo de recorrência em anos;

t= tempo de duração da precipitação em minutos;

a, b , c e d = coeficientes que dependem do pluviômetro. Para Irajá: a = 5.986 ; b = 0,15; c = 29,7 e d = 1,050.

Na equação foram aplicados os coeficientes correspondentes ao pluviômetro de Irajá, identificado como o mais próximo da área de estudo. Dessa forma, tem-se que $i = 3,138$ mm/hora, logo em 24 horas a intensidade máxima com tempo de recorrência de 2 anos é igual a 75,32 mm.

- Carga Média Anual de N na Precipitação (MNL)

Este dado foi retirado de um estudo desenvolvido pela Organização Meteorológica Mundial (WMO) em parceria com o Observatório Mundial da Atmosfera (GAW) e com o Grupo Científico de Orientação sobre Química da Precipitação (SAG-PC). O objetivo do trabalho foi avaliar a química da precipitação e a deposição a nível global de diversos elementos, entre eles o nitrogênio. Foram utilizados modelos para estimativas e medições regionais realizadas durante dois períodos, de 2000-2002 e de 2005-2007. Os resultados para deposição úmida de nitrogênio são apresentados graficamente na figura abaixo.

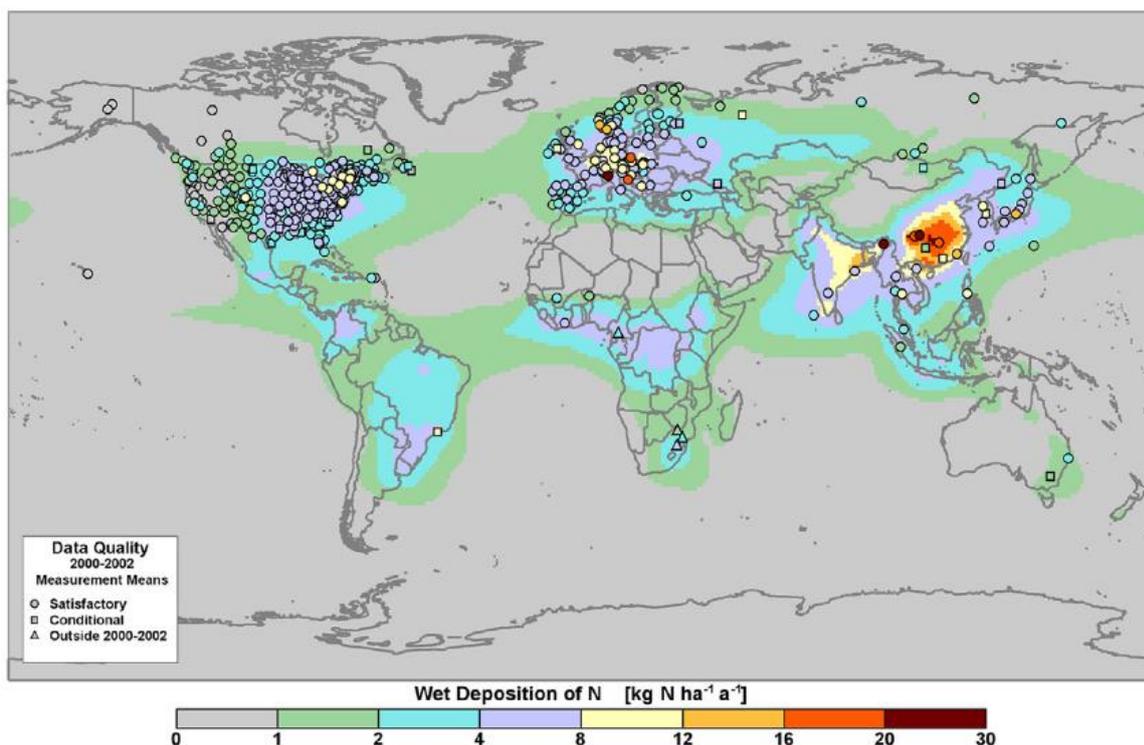


Figura 33. Deposição úmida de nitrogênio em kg/ha.ano
Fonte: VET, ARTZ, CAROU et. al. (2014)

Observa-se que a região analisada no presente trabalho, assim como a maior parte do país, está inserida na faixa de 2 a 4 kg de nitrogênio por hectare ao ano. Portanto, foi adotado um valor médio de 3 kg/ha.ano o que corresponde à média anual de 2,67 lbs/acre em unidades inglesas.

- Precipitação Média Anual (MAR)

A média anual de precipitação na cidade do Rio de Janeiro (1.069.4 mm), retirada das normais climatológicas do período de 1961 a 1990 (INMET, 2016), foi utilizada, pois somente dados referentes às capitais estaduais brasileiras encontram-se disponíveis. Esse valor corresponde a aproximadamente 42 polegadas, o que enquadraria a área de estudo na região III, segundo as divisões propostas pelo

método (**Capítulo 4**). A seguir é apresentado o gráfico das normais climatológicas da cidade do Rio de Janeiro.

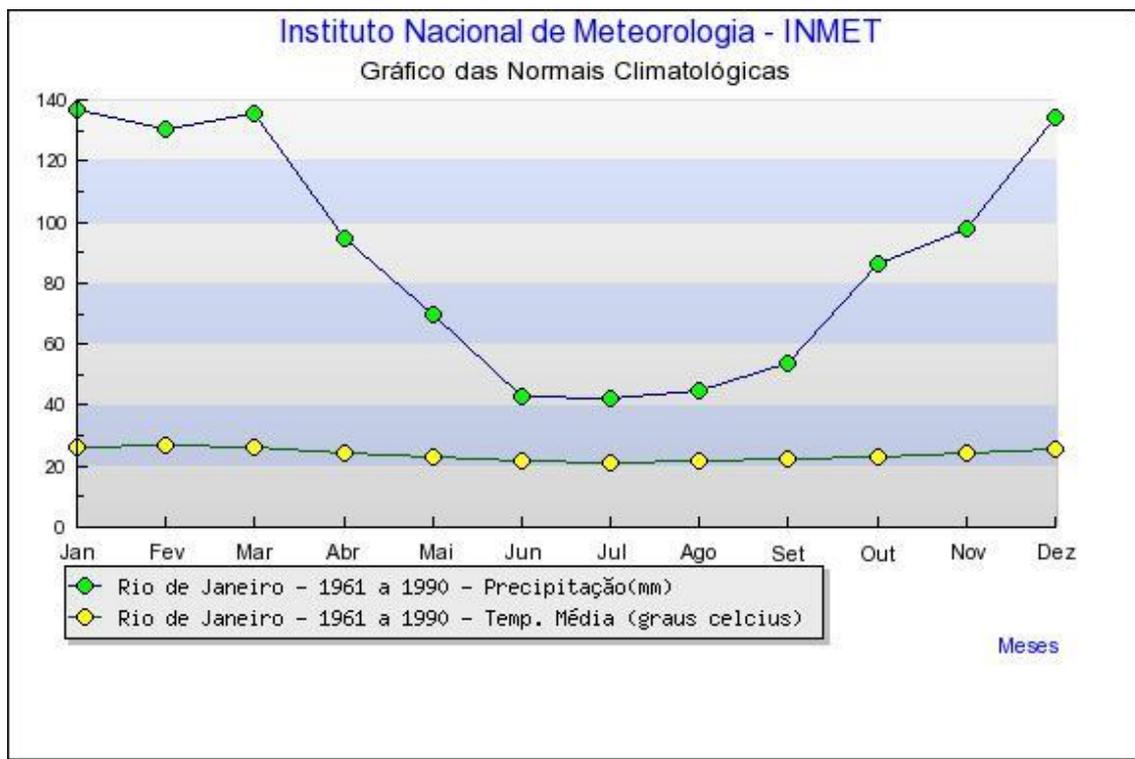


Figura 34. Gráfico das normais climatológicas da cidade do Rio de Janeiro.
Fonte: INMET (2016)

- Temperatura Média Mínima do Mês de Janeiro (MJT)

Esta variável refere-se à temperatura média mínima do mês de inverno (janeiro) no Hemisfério Norte, onde foram desenvolvidos os modelos. Para ajustá-lo à realidade da região analisada, foi considerada a temperatura média mínima no mês de julho, que corresponde a $18,4^{\circ}$ C segundo as normais climatológicas do período de 1961 a 1990 (INMET, 2016).

Na tabela a seguir são sintetizados os dados de entrada do modelo para a área de estudo.

Tabela 8. Dados de entrada relativos à área de estudo.

Variáveis	Valores
TRN	15,88 mm ou 0,625 pol
DA	0,26 km ² ou 0,10 mi ²
IA	84,4%
LUI	0%
LUC	2%
LUR	98%
LUN	0%
DP	1.527,60 hab/km ² ou 3.956,48 hab/mi ²
DRN	10 min
INT	75,32 mm ou 2,97 pol
MAR	1.069,4 mm ou 42,10 pol
MNL	3 kg/ha ou 2,67 lbs/acre
MJT	18,4° C ou 65,12 F

Fonte: Elaboração própria

Os modelos de regressão são considerados válidos desde que as variáveis explicativas utilizadas pertençam a determinada faixa de valores, conforme apresentado por DRIVER e TASKER (1990) e reproduzido na **Tabela 9**. Caso valores fora destes intervalos sejam utilizados, os erros padrão de estimativa provavelmente serão significativamente maiores.

Tabela 9. Faixa de valores das variáveis explicativas (em unidades inglesas)

Variável de Resposta e Região	Variáveis Explicativas	Mín	Máx	Méd.
DQO III	TRN	0,02	5,65	0,66
	DA	0,0012	2,64	0,13
	LUI	0	10,70	0,38
	LUC	0	100,00	28,88
	LUN	0	71,70	11,74
SS III	TRN	0,03	5,65	0,65
	DA	0,0012	0,94	0,14
	LUI	0	100,00	1,46
	LUC	0	100,00	25,29
	LUN	0	52,20	8,04
NT III	TRN	0,03	5,65	0,67
	DA	0,0012	0,94	0,12
	IA	4,7	98,80	41,64
	MNL	2,6	7,00	4,79
NKT III	TRN	0,04	5,65	0,66
	DA	0,0012	2,64	0,13
	LUN	0	71,70	11,1
	MAR	40	62,00	45,76
PT III	TRN	0,02	4,13	0,65
	DA	0,0012	1,79	0,13
	LUC	0	100,00	28,17
	LUR	0	100,00	60

Variável de Resposta e Região	Variáveis Explicativas	Mín	Máx	Méd.
	LUN	0	60,00	12,67
	MJT	12,4	58,70	34,02
PD III	TRN	0,04	2,34	0,58
	DA	0,03	2,64	0,14
	LUN	0	71,70	9,07
CU III	TRN	0,02	4,13	0,69
	DA	0,001	0,94	0,14
	LUI	0	10,70	0,58
	LUC	0	100,00	38,78
	LUN	0	60,00	11,51
	INT	0,48	0,76	0,59
PB III	TRN	0,02	5,65	0,71
	DA	0,001	1,79	0,17
	IA	4,7	98,80	42,6
ZN III	TRN	0,02	3,90	0,65
	DA	0,001	0,94	0,13
	LUI	0	10,70	0,44
	LUC	0	100,00	30,81
	LUR	0	100,00	57,53
	MJT	12,4	58,70	32,8
RUN III	TRN	0,02	5,65	0,69
	DA	0,0012	15,74	0,25
	IA	3,5	98,80	33,9

Fonte: Adaptado de DRIVER e TASKER (1990)

As variáveis MJT e INT levantadas para este estudo de caso mostraram-se fora dos limites apresentados na tabela anterior. De fato, a área selecionada para análise está localizada em um país tropical, o que justifica as maiores intensidades de precipitação e a menor amplitude térmica, resultando em invernos menos rigorosos, logo temperaturas mínimas mais elevadas do que as verificadas no Hemisfério Norte.

5.3 Resultados e Discussões

A falta de modelos regionais e a indisponibilidade de dados específicos relativos à bacia Iguazu-Sarapuí demandaram a adoção de hipóteses e a realização de inferências para que fosse possível realizar uma avaliação quantitativa da poluição difusa. Portanto, deve-se frisar que, os resultados encontrados e apresentados na **Tabela 10** constituem apenas estimativas preliminares do volume e das cargas poluidoras do escoamento superficial resultante de uma precipitação efetiva de meia polegada na área de estudo.

Tabela 10. Dados de resposta relativos à área de estudo.

Variável de Resposta e Região	Valores (lbs)	Valores (kg)
DQO III	162	74
SS III	331	150
NT III	5	2
NKT III	5	2
PT III	0,73	0,33
PD III	0,21	0,09
CU III	0,17	0,08
PB III	1,47	0,67
ZN III	0,11	0,05
RUN III*	87.377	2.473

*Os volumes são dados em ft³ e m³, respectivamente

Fonte: *Elaboração própria*

A ausência de modelos desenvolvidos para sólidos dissolvidos e cádmio recuperável total, na região III, impossibilitou a estimativa desses constituintes. Para essa mesma região, os resultados encontrados durante a calibração tanto do modelo de volume como dos modelos de cargas de poluentes mostraram-se menos acurados (**Capítulo 4**) quando comparados às regiões mais áridas do país. Segundo DRIVER e TASKER (1990), a menor precisão dos resultados pode ser associada ao fato de que as áreas com grande volume de precipitação geralmente apresentam períodos irregulares entre eventos de precipitação, fazendo com que os poluentes se acumulem na superfície, em níveis variáveis. Adicionalmente, os menores registros de precipitação medidos na região III formaram uma base de dados menos homogênea, o que comprometeu parcialmente o desenvolvimento do modelo para estimativa do volume de escoamentos para a região.

As limitações dos modelos de regressão concentraram-se nas cargas de SS e de metais pesados, o que sugere que os resultados apresentados na **Tabela 10** sejam menos exatos para esses constituintes. Na ocasião do desenvolvimento dos modelos, as discrepâncias encontradas foram atribuídas a técnicas precárias de medição e à variação considerável na composição de amostras de SS bem como a inconsistências nas técnicas analíticas de recuperação de metais.

Os resultados apontaram que os 2.473 m³ de *runoff*, gerados a partir de uma precipitação efetiva de meia polegada, carregam estimados 150 kg de SS. Caso não haja alguma forma de intervenção, esses sólidos irão atingir um corpo d'água, provocando assoreamento e alterações na qualidade hídrica, conforme especificado anteriormente no **item 2.6**. Quanto aos nutrientes foram encontrados 2 kg de NT; 2 kg de NKT; 0,33 kg de PT e 0,09 kg de PD. Os metais pesados foram estimados em 0,08

kg de CU; 0,67 kg de PB e 0,05 kg de ZN. Vale lembrar que tanto nutrientes como metais podem ser carregados aderidos aos SS, e ao atingir o corpo receptor podem resultar em efeitos tóxicos à biota, no caso dos metais pesados, e em eutrofização, no caso de nutrientes.

Os 74 kg estimados de DQO referem-se à matéria orgânica presente no escoamento e que contribuirão para a depleção de oxigênio dissolvido no ambiente aquático. Finalmente, os valores encontrados são relativos a uma pequena área urbana e a um evento de precipitação que irá se repetir ao longo do ano hidrológico. Isso reafirma a necessidade de se adotar medidas de controle que impeçam a chegada da carga poluidora aos corpos d'água.

5.4 Propostas

A partir da análise das imagens aéreas da região delimitada e dentre as soluções conhecidas para controle da poluição difusa sugere-se a construção de uma bacia de retenção. Essa estrutura, localizada em cota inferior à da área de drenagem, realizaria a retenção prolongada dos escoamentos superficiais e uma vez ultrapassada sua capacidade de armazenamento a água retornaria para a rede de drenagem, sendo posteriormente encaminhada para o corpo d'água mais próximo. (**Figura 35**)



Figura 35. Solução proposta para área de estudo
Fonte: GOOGLE (2016)

Os reservatórios (bacias) de retenção, em geral, demonstram boa eficiência na remoção de sedimentos e metais e razoável eficiência para nutrientes (SMDU, 2012).

Além de serem úteis para o controle da poluição carregada pelas águas da chuva, essas estruturas auxiliam no controle das cheias e podem, ainda, adquirir funções paisagísticas para se integrar mais harmoniosamente ao ambiente urbano. As bacias possuem um dispositivo de descarga, em geral um orifício que restringe a vazão de saída, gerando um acúmulo temporário de água. Em períodos secos esses reservatórios permanecem vazios e podem ser utilizados para outras finalidades, o que lhes confere um caráter multifuncional.

No entanto, obras desta natureza podem enfrentar resistência por parte da população do entorno devido à utilização de espaços públicos como parques, praças e campos de futebol. Por conta da rejeição popular, em alguns casos opta-se por construir reservatórios escavados, de modo a conservar a área de lazer apoiada sobre uma laje, o que incorre em altos custos de implantação.

O campo gramado sugerido para a construção da bacia de detenção, no estudo de caso, possui área equivalente a 4.704 m², com 48 metros de largura e 98 metros de comprimento. Propõe-se a setorização do campo em: duas quadras de futebol *society* e uma bacia de sedimentação segmentada para recebimento do escoamento, conforme representação esquemática na **Figura 36**.

A partir dessas dimensões, a bacia de sedimentação teria área total igual a 1.800 m², dividida em dois compartimentos iguais. Para receber o escoamento decorrente de uma precipitação efetiva de meia polegada a estrutura deve apresentar profundidade mínima de 1,38 m. Sugere-se que o primeiro compartimento seja construído com rampas de acesso que facilitem a operação de limpeza através de mini raspadeiras do tipo “*bob cat*”.



Figura 36. Representação esquemática da proposta
Fonte: Elaboração própria

O escoamento gerado na área de drenagem chega, por uma tubulação de entrada, ao primeiro compartimento da bacia de sedimentação onde ficará depositada a maior parte dos sólidos grosseiros e sedimentáveis carreados. Uma vez atingida a cota máxima estabelecida, a água segue para o compartimento seguinte, cujo funcionamento é análogo ao anterior, até que a sua capacidade de armazenamento seja atingida. A bacia de sedimentação é dotada de uma tubulação de saída de menor diâmetro que a de entrada de forma a garantir a liberação lenta da água para a rede drenagem. Quando o segundo compartimento se encontra preenchido, a tubulação de entrada deixa de alimentar a bacia de sedimentação, e a água é desviada por um divisor ou separador de vazões (eng. “*flow diversion*”) a partir da rede de drenagem, seguindo diretamente para o primeiro campo de futebol. Essa configuração foi selecionada para evitar a ressuspensão dos sólidos já depositados na bacia de sedimentação. Na **Figura 37** são representados os fluxos do escoamento da água.

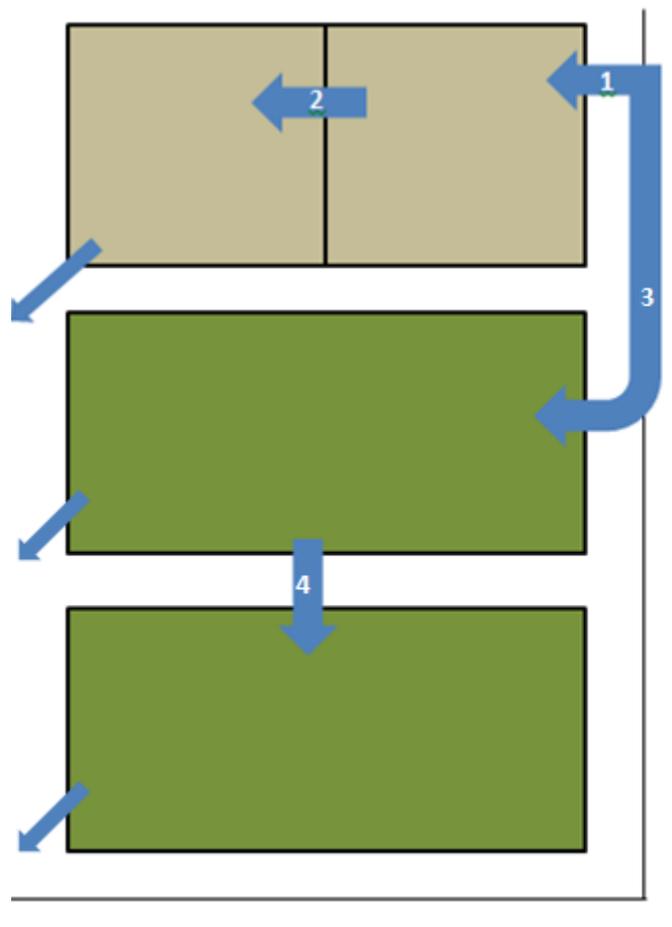


Figura 37. Representação esquemática do fluxo do escoamento
Fonte: Elaboração própria

A compartimentalização do terreno faz com que os campos de futebol sofram interrupções menos frequentes, já que eles só receberiam escoamentos quando a capacidade de armazenamento dos reservatórios de sedimentação fosse superada. Tal funcionamento garante, ainda, menores custos de limpeza e manutenção, pois a maior parte dos sólidos é retida na bacia de sedimentação, cuja limpeza deve ser efetuada com maior frequência. Além disso, essa alternativa apresentaria um caráter multifuncional, reunindo uma área de lazer ordenada e uma infraestrutura de controle da poluição difusa. Finalmente, espera-se uma maior aceitação popular, que deve ser incentivada por meio da educação ambiental.

Próximo à área de estudo foram identificadas outras duas alternativas potenciais para instalação da bacia de detenção, caso a área selecionada preliminarmente mostre-se inviável ou indisponível após estudos mais detalhados. De qualquer forma, essas bacias receberiam o escoamento de uma área limitada, representando, portanto uma micro solução. Apesar disso, soluções semelhantes poderiam ser aplicadas a outras áreas da bacia. Na **Figura 38** encontram-se

destacados terrenos que poderiam comportar uma bacia de detenção para controle de poluição de áreas próximas.



Figura 38. Áreas potenciais para construção de bacias de detenção
Fonte: GOOGLE (2016)

Recomenda-se a implantação de um sistema de monitoramento na galeria pluvial dotado de medidor de nível e sonda para coleta de amostras e análise da qualidade da água. A medição direta possibilita o desenvolvimento de uma base de dados local e viabiliza a calibração de modelos regressivos múltiplos capazes de quantificar mais precisamente a poluição difusa em regiões próximas. De fato, constatou-se que nessa área existe sistema de drenagem implantado (vide **Anexo II**), com bocas de lobo e galerias pluviais, o que permitiria a realização desse procedimento.

6 Considerações Finais

O presente trabalho realizou uma avaliação quantitativa da poluição difusa gerada em uma área localizada no município de Nova Iguaçu e pertencente à bacia do rio Iguaçu-Sarapuí. Foram utilizados modelos regressivos múltiplos desenvolvidos por DRIVER e TASKER (1990) para realização de estimativas preliminares do volume de escoamento superficial e das cargas de poluentes carreados por ele.

Os modelos utilizados foram desenvolvidos para bacias urbanizadas americanas com base em suas características físicas, de uso do solo e climáticas. Devido à ausência de modelos regionais aplicáveis, esses foram empregados tendo como dados de entrada características da região de estudo. Dada a indisponibilidade de informações oficiais específicas dessa área, foram realizadas interpretações a partir de imagens aéreas e utilizados dados pluviométricos de uma estação próxima (Irajá), assim como dados climatológicos da cidade do Rio de Janeiro.

De modo geral, em regiões onde os serviços de saneamento são precários, as cargas poluidoras transportadas pelos escoamentos urbanos tendem a ser maiores. Ainda que os modelos utilizados tenham sido calibrados nos Estados Unidos na década de 90, espera-se que as cargas poluidoras encontradas neste estudo estejam subestimadas, dados os baixos índices de coleta de esgotos e o acúmulo de lixo nas ruas verificados na Baixada Fluminense.

A utilização de modelos regressivos mostrou-se útil, quando da ausência de medição direta, para a realização de estimativas das cargas difusas de forma a direcionar o planejamento de medidas de controle da poluição. No entanto, eles apresentam limitações e requerem uma análise criteriosa dos resultados encontrados. Portanto, recomenda-se a instalação de sistemas de monitoramento nas galerias pluviais e a consolidação de uma base de dados local que possibilite o desenvolvimento de modelos regionais aplicáveis a áreas próximas que ainda não realizam a medição direta.

Analisando-se os resultados encontrados neste trabalho e as técnicas conhecidas de controle da poluição difusa propôs-se a construção de um reservatório de retenção segmentado na área de estudo, capaz de reter o escoamento e reduzir sua carga poluidora. A compartimentalização desse reservatório tem por objetivo garantir a maior deposição de sedimentos na primeira unidade receptora dos escoamentos, de forma a ampliar a vida útil da estrutura como um todo e reduzir a frequência de interrupção no uso dos campos de futebol. Tal proposta, após estudo de viabilidade técnica-econômica e ambiental, configuraria uma solução para o controle

do *runoff* gerado na área analisada, podendo ser reproduzida em regiões próximas que possuam sistema de drenagem implantado e disponibilidade de área.

Apesar de as cargas difusas apresentarem elevado potencial de degradação ambiental, o seu controle é, muitas vezes, excluído dos projetos de saneamento. Além de a poluição difusa ser de difícil quantificação, conforme demonstrado ao longo deste trabalho, o atendimento deficitário dos serviços de esgotamento sanitário em algumas regiões do país, contribui para que os investimentos sejam, usualmente, concentrados nesse setor. Adicionalmente, a população tende a apresentar resistência à instalação de unidades de controle das cargas difusas, como a construção de reservatórios de detenção ou retenção. Essa situação poderia ser revertida por meio de programas ambientais de conscientização e da elaboração de projetos voltados à criação de paisagens multifuncionais. O monitoramento das águas pluviais e o desenvolvimento de estudos são fundamentais tanto para contornar as dificuldades de quantificação inerentes à própria poluição difusa quanto para esclarecer o real potencial de impacto do seu lançamento nos corpos receptores.

7 Referências Bibliográficas

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2014, *PLANSAB- Plano Nacional de Saneamento Básico Mais Saúde com Qualidade de Vida e Cidadania*. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/PlanSaB/plansab_texto_editado_para_download.pdf>. Acesso em: 08/06/2016.

CAMPANA, N., TUCCI, C.E.M., 1994, “Estimativa de Área Impermeável de Macro Bacias Urbanas”, *RBE- Caderno de Recursos Hídricos*, v.12, n.2, pp. 79-94.

CARNEIRO, P. R. C., 2008, *Controle de Inundações em Bacias Metropolitanas, Considerando a Integração do Planejamento do Uso do Solo à Gestão dos Recursos Hídricos. Estudo de Caso: Bacia dos Rios Iguaçu/Sarapuí na Região Metropolitana do Rio de Janeiro*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CUTOLO, S. A., 2009, *Reuso de Águas Residuárias e Saúde Pública*. 1ª ed. São Paulo, AnnaBlume, Fapesp.

CWP, 2001, “The Simple Method to Calculate Urban Stormwater Loads”. In: CENTER OF WATERSHED PROTECTION (Org.), *New York State Stormwater Management Design Manual*, Apêndice A, Maryland, Center for Watershed Protection.

DRIVER, N.E., TASKER, G.D., 1990, *Techniques for Estimation of Storm-Runoff Loads, Volumes, and Selected Constituent Concentrations in Urban Watersheds in the United States*. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2363. Washington, United States Government Printing Office.

EARTH POINT, 2016. Disponível em: < <http://www.earthpoint.us/>>. Acesso em: 08/07/2016.

ELLIS, J.B., 1986, “Pollutional Aspects of Urban Runoff”. In: TORNO, H.C., MARSÁLEK, J., DESBORDES, M. (Eds.), *Urban Runoff Pollution*, NATA ASI Series Vol. 10, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 1-38.

ESRI, 2014, *ArcMap, ArcGis for Desktop: Version 10.2.2.3552*.

GOOGLE, 2016, *Google Earth/ Street View*. Versão 7.1.5.1557

HERZOG, C. P., 2009, *Guaratiba Verde: Subsídios para o Projeto de Infra-estrutura Verde em Área de Expansão Urbana na Cidade do Rio de Janeiro*. Dissertação de Msc., FAU/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

HVITVED-JACOBSEN, T., 1986, “Conventional Pollutant Impacts on Receiving Waters” In: TORNO, H.C., MARSÁLEK, J., DESBORDES, M. (Eds.), *Urban Runoff Pollution*, NATA ASI Series Vol. 10, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 345-378.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2002, *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000*, Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/pnsb.pdf>>. Acesso em: 28/04/2016.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010, *Sinopse do Censo Demográfico 2010*. Disponível em:

<<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=33&dados=1>>. Acesso em: 15/11/2015.

INMET- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2016, *Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/clima/graficos/plotGraf.php?chklist=2%2C&capita=riodejaneiro%2C&peri=99%2C&per6190=99&precipitacao=2&riodejaneiro=34&Enviar=Visualizar>>. Acesso em: 19/05/2016.

MARSALEK, J., 1986, "Toxic Contaminants in Urban Runoff: A Case Study". In: TORNO, H.C., MARSALEK, J., DESBORDES, M. (Eds.), *Urban Runoff Pollution*, NATA ASI Series Vol. 10, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 39-57.

MENEZES FILHO, F. C. M., TUCCI, C. E. M., 2012, "Alteração na Relação entre Densidade Habitacional X Área Impermeável: Porto Alegre – RS", *REGA- Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 9, n. 1, pp. 49 -56.

NOVOTNY, V., CHESTERS, G., 1981, *Handbook of Non-point Pollution: Sources and Management*. 1ª ed. Nova York, Van Nostrand Reinhold.

PORTO, M. F. A., 1995, "Aspectos Qualitativos do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas". In: TUCCI, C. E. M., PORTO, R. L. L., BARROS, M. T. (Eds.), *Drenagem Urbana*. Porto Alegre, ABRH- Editora da Universidade/ UFRGS.

PRODANOFF, J. H. A., 2005, *Avaliação da Poluição Difusa Gerada por Enxurradas em Meio Urbano*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

RIO DE JANEIRO (Cidade). RIO-ÁGUAS, 2010, *Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana*. Rio de Janeiro, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro.

RIO DE JANEIRO (Estado). SERLA – FUNDAÇÃO SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DE RIOS E LAGOAS, 1996, *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia dos Rios Iguaçu/Sarapuí, com Ênfase no Controle de Inundações Relatório Final*. V.1. Rio de Janeiro.

SÃO PAULO (Cidade). SMDU - SECRETARIA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO, 2012, *Manual de Drenagem e Manejo de águas Pluviais Aspectos Tecnológicos: Fundamentos*. V. II. São Paulo, Prefeitura de São Paulo.

SCHUELER, T., 1987, *Controlling Urban Run off: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMS*. Washington, Metropolitan Washington Council of Government.

SILVA, A. L., 2003, *A Utilização do Modelo WinHSPF no Estudo das Cargas Difusas de Poluição da Bacia do Ribeirão da Estiva, SP*. Dissertação de M.Sc., Poli-USP, São Paulo, SP, Brasil.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2014a, *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2014*. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2014>>. Acesso em: 27/04/2016.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2014b, *Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2014*. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2014>>. Acesso em: 28/04/2016.

TOMAZ, P., 2006, *Poluição Difusa*. 2ª ed. São Paulo, Navegar Editora.

TUCCI, C.E.M., PORTO, R.L.L., BARROS, M.T., 1995, *Drenagem urbana*. 1ª ed. Porto Alegre, ABRH- Editora da Universidade/ UFRGS.

VET, R., ARTZ, R. S., CAROU, S. *et al.*, 2014, "A Global Assessment of Precipitation Chemistry and Deposition of Sulfur, Nitrogen, Sea Salt, Base Cations, Organic Acids, Acidity and pH, and Phosphorus", *Atmospheric Environment*, 93, pp. 3-100.

VIEIRA, A. R., COSTA, L., BARRÊTO, S. R., 2006, *Cadernos de Educação Ambiental Água para Vida, Água para Todos Livro das Águas*. 1ª ed. Brasília, Laborprint.

VON SPERLING, M., 2005, *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. V.1. 3ª ed. Belo Horizonte, DESA/UFMG.

ANEXO I

A seguir são apresentadas as imagens representativas dos pontos selecionados no **item 3.1** para caracterização das formas de uso e ocupação do solo na bacia do rio Iguçu-Sarapuí.



Figura 39. Ponto 3: Rua Leonel Gouvêia, Nova Iguaçu
Fonte: GOOGLE (2016)



Figura 40. Ponto 4: Rua Jacutinga, Nova Iguaçu
Fonte: GOOGLE (2016)



Figura 41. Ponto 5: Rua Ernesto Regattieri, Nova Iguaçu
Fonte: GOOGLE (2016)



Figura 42. Ponto 6: Avenida Monte Libano, Nova Iguaçu
Fonte: GOOGLE (2016)



Figura 43. Ponto 7: Rua Danilo, Belford Roxo
Fonte: GOOGLE (2016)



Figura 44. Ponto 8: Avenida Joaquim da Costa Lima, Belford Roxo
Fonte: GOOGLE (2016)



Figura 45. Ponto 9: Rua Padre Viêira, São João de Meriti
Fonte: GOOGLE (2016)



Figura 46. Ponto 12: Av. Francisco Faleiro de Freitas Lima, Duque de Caxias
Fonte: GOOGLE (2016)



Figura 47. Ponto 15: Rua Antônio Rodrigues Oliveira, Mesquita
Fonte: GOOGLE (2016)



Figura 48. Ponto 16: Rua Nair, São João de Meriti
Fonte: GOOGLE (2016)

ANEXO II

As imagens a seguir retiradas do *Google Earth/Street View* (GOOGLE,2016) comprovam a existência de sistema de drenagem implantado na área de estudo viabilizando a consolidação das propostas apresentadas no presente trabalho. (Item 5.4)



Figura 49. Rua Lider, Nova Iguaçu
Fonte: GOOGLE (2016)



Figura 50. Rua Gonçalves Dias, Nova Iguaçu
Fonte: GOOGLE (2016)



Figura 51. Rua Santa Luzia, Nova Iguaçu
Fonte: GOOGLE (2016)

