

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**MONITORAMENTO E MODELAGEM HIDROLÓGICA DA SUB-  
BACIA DO LAGO PARANOÁ - BRASÍLIA/DF - E AVALIAÇÃO DE  
BACIA DE DETENÇÃO.**

**FERNANDA PEREIRA DE SOUZA**

**ORIENTADOR: SERGIO KOIDE**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E  
RECURSOS HÍDRICOS**

**PUBLICAÇÃO: PTARH.DM – 165/14  
BRASÍLIA/DF: OUTUBRO – 2014**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**MONITORAMENTO E MODELAGEM HIDROLÓGICA DA SUB-  
BACIA DO LAGO PARANOÁ - BRASÍLIA/DF - E AVALIAÇÃO DE  
BACIA DE DETENÇÃO.**

**FERNANDA PEREIRA DE SOUZA**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS.

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Sérgio Koide, PhD (EnC-UnB)**

**(ORIENTADOR)**

---

**Prof. Conceição de Maria Albuquerque Alves, PhD (EnC-UnB)**

**(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**Prof. Rutinéia Tassi, Dr (UFSM-RS)**

**(EXAMINADOR EXTERNO)**

**BRASÍLIA/DF, OUTUBRO DE 2014.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

SOUZA, F.P.

MONITORAMENTO E MODELAGEM HIDROLÓGICA DE SUB-BACIA DO LAGO PARANOÁ - BRASÍLIA/DF - E AVALIAÇÃO DE BACIAS DE E DETENÇÃO. xxiv, 139., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2013). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. QUALIDADE DAS ÁGUAS

2. SWMM

3. ÁGUAS URBANAS

4. POLUIÇÃO DIFUSA

I. ENC/FT/UnB II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOUZA, F.P. (2014). *Monitoramento e modelagem hidrológica da sub-bacia do Lago Paranoá - Brasília/DF - e avaliação de bacias de retenção*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-165/2014, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 139.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DA AUTORA: Fernanda Pereira de Souza

TÍTULO: *Monitoramento e modelagem hidrológica da sub-bacia do Lago Paranoá - Brasília/DF - e avaliação de bacias de retenção*.

GRAU: Mestre

ANO: 2014

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

**Fernanda Pereira de Souza**

**eng.amb.fernanda@gmail.com**



## **Agradecimentos**

Primeiramente tenho que agradecer a Deus pelo seu imenso amor, a minha amada mãe, Helena Silva, que além da vida me deu todo suporte para hoje poder seguir meu caminho e lutar pelo que almejo e aos meus irmãos: Diones, João Victor, Thamires e Tatielle.

Agradeço a todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste estudo. Meu particular agradecimento ao meu orientador, Sergio Koide, pela paciência e confiança, e aos professores do PTARH: Conceição Alves, Dirceu Reis, Lenora Gomes, Yovanca Ginoris, Oscar Cordeiro, Cristina Brandão, Ariuska Amorim, Carlos Lima, Marco Antônio Souza por todo conhecimento transmitido, paciência e dedicação.

Agradeço aos novos amigos que estiveram comigo por todo o caminho, incentivando e apoiando: Sara Ferrigo, Carolina Neves, Erica Canamary, Maria Elisa, Claudia Guimarães e aos que deram todo o apoio necessário, companheiros de campo e laboratório: Marcilene, Boy, Júnior, Carla e Sara.

Aos amigos e colegas de sala: Cahola, Ana Maria, Mateus, Olga, Adriane, Claudinha, Rovená, Pedro, Luiz Gustavo, Lúcio e Vinicius; e aos amigos que a vida me reservou: Talita, Claudênia, Julie, Rebeca, Eveline, Kênia, Elizandro, Bernard, Neder, Pedro, Silvana, Thaís e todos os que fazem da minha vida uma aventura nessa terra.

Agradeço meus professores da graduação, Douglas José e Perseu Santos (*in memoriam*) que estimularam meu gosto pela pesquisa e me ajudaram em meus primeiros passos no meio acadêmico, com paciência e amizade.

Agradeço às pessoas e instituições que colaboraram no fornecimento de dados, esclarecimentos e apoio: CAESB, em especial ao Augusto, Maria do Carmo e Joner, além da NOVACAP, ADASA e TERRACAP. Ao CNPq pela bolsa de mestrado, ao MCTI, FINEP e FAP-DF pelo financiamento do projeto em que este trabalho está inserido. Finalmente agradeço a CHIWATER pela licença do PCSWMM Professional Software cedida.

## RESUMO

### MONITORAMENTO E MODELAGEM HIDROLÓGICA DA SUB-BACIA DO LAGO PARANOÁ - BRASÍLIA/DF - E AVALIAÇÃO DE BACIAS DE DETENÇÃO.

Autora: Fernanda Pereira de Souza.

Orientador: Sergio Koide.

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Brasília, 20 de outubro de 2014.

O Lago Paranoá, DF, deverá se tornar fonte para abastecimento urbano, requerendo conhecimento da dinâmica das áreas urbanas que compreendem seu território a fim de reduzir os riscos de ocorrência de eventos indesejáveis e impactos das diversas atividades que ocorrem nesse espaço urbano. Assim, a avaliação das águas de drenagem urbana em sub-bacias com características distintas e a proposição de alternativas tecnológicas para minimização de impactos são importantes para a análise da poluição urbana difusa lançada no lago. Portanto, analisou-se o comportamento quantitativo e qualitativo das águas de drenagem urbana por meio do monitoramento da precipitação e do escoamento superficial da sub-bacia do Iate Clube e do Centro Olímpico, em que foram monitorados quantitativamente 103 eventos e qualitativamente, 31, constituindo 378 amostras, em que se analisaram variáveis físico-químicas de qualidade da água. Foi feita modelagem matemática, utilizando os programas SWMM e PCSWMM, em que foram obtidos bons resultados para modelagem de vazão, porém, nas simulações de qualidade, observou-se uma resposta menos eficiente do modelo. Avaliou-se também a implantação de 13 alternativas de bacias de retenção para estudar os efeitos de sua localização na remoção de poluentes, bem com o dimensionamento de seu volume de armazenamento e consequentes influências na rede e na eficiência de remoção dos poluentes. Observou-se que as bacias a jusante da rede são as mais eficientes, porém requerem uma área de construção em geral em áreas ambientalmente problemáticas e/ou de alto valor comercial. Alternativas com volumes menores em áreas mais centrais na bacia podem atender às necessidades de amortecimento das cheias.

**Palavras-chaves:** qualidades das águas urbanas, SWMM, bacia de retenção.

## **ABSTRAT**

### **MONITORING AND HYDROLOGICMODELING OF SUB-BASIN OF PARANOÁ LAKE - BRASÍLIA / DF - AND EVALUATION OF DETENTION BASIN.**

Author: Fernanda Pereira de Souza.

Supervisor: Sergio Koide.

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Brasília, 20 October 2014.

The Paranoá Lake, Federal District, will become a source for urban water supply, knowledge about the urban areas dynamics that cover its territory is necessary to reduce the risk of occurrence of negative events and many activities impacts that happen in the basin zone. Therefore, minimize impacts are important for the analysis of diffused urban pollution released into the lake and the assessment of urban drainage sub-basins water with different characteristics and the proposal of technological alternatives are essential for this minimization. Therefore, was analyzed the quantitative and qualitative behavior of urban drainage waters by monitoring rainfall and runoff from the Iate Club and the Olympic Center sub-basins, where 103 events were monitored quantitatively and qualitatively, 31, constituting 378 samples, which were analyzed physicochemical variables of water quality. It was made mathematical modeling with SWMM, and calibration and verification with PCSWMM, which was obtained good results for flow, but the simulations of quality was observed a less efficient response. The implementation of 13 alternatives of detention basins to study the location effects on pollutants removal was evaluated, as well as the sizing of their storage volume and consequent influences on the network and the pollutants removal efficiency. It was noted that the basins downstream network are the most efficient, but requires a construction site often environmentally problematic and/or areas of high commercial value. Alternatives with lower volumes in basin central areas can support the flood damping.

**Keywords:** quality of urban water, SWMM, retention basin.

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Representação do Ciclo Hidrológico (Adaptado de Brutsaert, 2010).</i>	21
<i>Figura 2 Fluxograma Gestão Ambiental no DF (GDF, 2009).</i>	24
<i>Figura 3 Fluxograma explicativo dos módulos do SWMM.</i>	39
<i>Figura 4 Representação conceitual de um controle de LID (Gomes, 2012).</i>	40
<i>Figura 5 Principais aplicações do SWMM</i>	41
<i>Figura 6 Localização da Sub-bacia Urbana Iate Clube e Centro Olímpico</i>	42
<i>Figura 7 Unidades Hidrográficas da Bacia do Lago Paranoá.</i>	43
<i>Figura 8 Mapa de Solos da Bacia do Lago Paranoá - AQd – Neossolo Quartizarênico, Cd – Cambissolos, HI – Solos Hidromórficos, HLd – Plintossolo Distrófico, HPd – Espossosolo, Led – Latossolo Vermelho, LVd – Latossolo Vermelho-Amarelo, PE – Argilosos Vermelho Amarelo</i>	44
<i>Figura 9 Características da Bacia do Iate Clube</i>	45
<i>Figura 10 Estádio Mané Garrincha (a) e Setor Hoteleiro Norte (b) – em construção, em agosto de 2011.</i>	45
<i>Figura 11 Construções no Setor de Autarquias Norte (a) e local da antiga sede da CEB (b), em dezembro de 2012– Fonte: Google Earth.</i>	46
<i>Figura 12 Características da Bacia do Centro Olímpico</i>	46
<i>Figura 13 Autódromo Nelson Piquet.</i>	47
<i>Figura 14 Universidade de Brasília.</i>	47
<i>Figura 15 Uso do solo CO – Fonte: Costa (2013).</i>	47
<i>Figura 16 Esquema utilizado para monitoramento nas bacias do Iate Clube e CO.</i>	49
<i>Figura 17 Localização dos pontos de monitoramento das bacias do Iate e CO.</i>	50
<i>Figura 18 Instalação do H-ADCP - a) posição inicial do equipamento b) posição final do equipamento</i>	52
<i>Figura 19 Posição do H-ADCP dentro da galeria do Iate.</i>	52
<i>Figura 20 Localização dos pluviômetros na bacia do Iate</i>	54
<i>Figura 21 Pluviômetros a) utilizado pela UnB b) utilizado pela CAESB c) Instalado.</i>	54
<i>Figura 22 Coletor automático de amostras de água - ISCO</i>	55
<i>Figura 23 Imagens das ferramentas utilizadas para o acompanhamento da previsão do Tempo</i>	56
<i>Figura 24 Velocidade do Vento e Evapotranspiração</i>	58
<i>Figura 25 Tipos de Função de Acúmulo</i>	61
<i>Figura 26 Função Potência (Acúmulo)</i>	61
<i>Figura 27 Função Exponencial (Acúmulo)</i>	61
<i>Figura 28 Função Saturação (Acúmulo)</i>	61
<i>Figura 29 Função Exponencial (Lavagem)</i>	62
<i>Figura 30 Função RC (Lavagem)</i>	62
<i>Figura 31 Localização das alternativas das bacias.</i>	65
<i>Figura 32 Curva IDF para Brasília (NOVACAP, 2005)</i>	68
<i>Figura 33 Pontos observados e traçado da curva-chave.</i>	72
<i>Figura 34 Gráfico da curva chave para a bacia do Iate Clube.</i>	72
<i>Figura 35 Levantamento pluviométrico para CO para o ano de 2013/2014.</i>	73

<i>Figura 36 Levantamento pluviométrico para Iate Clube para o ano de 2013/2014 .....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 37 Intensidade de chuva Iate Clube ano de 2012/2013 por Costa (2013).....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 38 Intensidade de chuva CO ano de 2012/2013 por Costa (2013).....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 39 Precipitação acumulada para o ano de 2011 – INMET .....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 40 Precipitação acumulada para o ano de 2012 - INMET.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 41 Precipitação acumulada para o ano de 2013 – INMET .....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 42 Precipitação acumulada para o ano de 2014 - INMET.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 43 Polígonos de Thiessen para Bacia do Iate Clube .....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 44 Polígonos de Thiessen para Bacia do Iate Clube, sem pluviômetro do DNIT.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 45 Arranjo de 24 garrafas usadas no Coletor Automático .....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 46 Garrafa utilizada com embalagens descartáveis .....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 47 Amostras coletadas no dia 21/01/2014 na galeria do Iate Clube.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 48 Condutividade Iate Clube.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 49 Condutividade CO.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 50 Turbidez Iate Clube .....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 51 Turbidez CO .....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 52 Sólidos Suspensos Iate Clube .....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 53 Sólidos Suspensos CO .....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 54 Sólidos Dissolvidos Iate Clube.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 55 Sólidos Dissolvidos CO.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 56 Correlação Turbidez e SS - Iate Clube .....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 57 Correlação Turbidez e SS – CO.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 58 Correlação Condutividade e SD - Iate Clube .....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 59 Correlação Condutividade e SD - CO .....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 60 Amônia Iate Clube.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 61 Amônia CO.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 62 Nitrito Iate Clube.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 63 Nitrito CO.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 64 Nitrato Iate Clube.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 65 Nitrato CO.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 66 Fósforo Total Iate Clube .....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 67 Fósforo Total CO .....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 68 DQO Iate Clube.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 69 DQO CO.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 70 Cargas geradas no Iate Clube entre 2013 e 2014.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 71 Cargas geradas no CO entre 2013 e 2014.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 72 Cargas Iate Clube ano 2012-2013 (Costa, 2013).....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 73 Cargas CO ano 2012-2013 (Costa, 2013) .....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 74 Mapa de declividade da bacia do Iate Clube.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 75 Mapa de uso do solo da bacia do Iate Clube .....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 76 Representação das Sub-bacias de Contribuição da bacia do Iate Clube. ....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 77 Mapa representativo da rede de macrodrenagem da bacia do Iate Clube.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 78 Levantamento das bocas de lobo para as quadra 202 e 402 da Asa Norte. ....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 79 Exemplos de bocas-de-Lobo na quadra 402 norte.....</i>	<i>90</i>

<i>Figura 80 Rede de microdrenagem obtida entre as quadras 206 e 406 representadas pelo modelo.</i>	91
<i>Figura 81 Hidrograma referente ao dia 12 de novembro</i>	93
<i>Figura 82 Comparação da vazão observada apenas com a macrodrenagem e com a microdrenagem</i>	95
<i>Figura 83 Polutograma (nitrito - mg/L) referente ao dia 30/11</i>	97
<i>Figura 84 Polutograma (nitrato - mg/L) referente ao dia 30/11</i>	97
<i>Figura 85 Polutograma (amônia - mg/L) referente ao dia 30/11</i>	97
<i>Figura 86 Polutograma (fósforo - mg/L) referente ao dia 30/11</i>	98
<i>Figura 87 Polutograma (DQO - mg/L) referente ao dia 30/11</i>	98
<i>Figura 88 Polutograma (condutividade - mg/L) referente ao dia 30/11</i>	99
<i>Figura 89 Polutograma (Sedimentos - mg/L) referente ao dia 30/11</i>	99
<i>Figura 90 Polutograma (Turbidez - mg/L) referente ao dia 30/11</i>	99
<i>Figura 91 Carga observadas e simuladas de (a) amônia, (b) DQO, (c) Ft, (d) nitrato, (e) nitrito e (f) sedimentos do dia 02/12</i>	101
<i>Figura 92 Carga observadas e simuladas de (a) amônia, (b) DQO, (c) Ft, (d) nitrato, (e) nitrito e (f) sedimentos do dia 05/12</i>	102
<i>Figura 93 Carga observadas e simuladas de (a) amônia, (b) DQO, (c) Ft, (d) nitrato, (e) nitrito e (f) sedimentos do dia 09/12</i>	103
<i>Figura 94 Carga observadas e simuladas de (a) amônia, (b) DQO, (c) Ft, (d) nitrato, (e) nitrito e (f) sedimentos do dia 12/12</i>	104
<i>Figura 95 Rede sem bacia de detenção</i>	107
<i>Figura 96 Comportamento da rede com a implantação da alternativa 1</i>	108
<i>Figura 97 Comportamento da rede com a implantação da alternativa 2</i>	108
<i>Figura 98 Comportamento da rede com a implantação alternativa 3</i>	109
<i>Figura 99 Comportamento da rede com a implantação alternativa 4</i>	109
<i>Figura 100 Comportamento da rede com a implantação alternativa 9</i>	110
<i>Figura 101 Comportamento da rede com a implantação alternativa 10</i>	110
<i>Figura 102 Comportamento da rede com a implantação Alternativa 11</i>	111
<i>Figura 103 Comportamento da rede com a implantação alternativa 12</i>	111
<i>Figura 104 Comportamento da rede com a implantação alternativa 13</i>	112
<i>Figura 105 Vazão para alternativa sem Bacia</i>	112
<i>Figura 106 Vazão para alternativa 9</i>	112
<i>Figura 107 Vazão para alternativa 12</i>	113
<i>Figura 108 Vazão para alternativa 13</i>	113
<i>Figura 109 Vazão gerada para Chuva 1</i>	113
<i>Figura 110 Vazão gerada para Chuva 5</i>	113
<i>Figura 112 Carga de SS pelo seu percentual de remoção</i>	116
<i>Figura 113 Carga de nitrogênio pelo seu percentual de remoção</i>	117
<i>Figura 114 Carga de fósforo pelo seu percentual de remoção</i>	117
<i>Figura 115 Carga de DQO pelo seu percentual de remoção</i>	118

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 Estrutura metodológica para concepção do trabalho.</i>	48
<i>Tabela 2 Variáveis e métodos de análise da qualidade da água utilizados no LAA.</i>	55
<i>Tabela 3 Disposição das bacias de retenção.</i>	64
<i>Tabela 4 Identificação dos elementos da sub-bacia de contribuição submetidos à análise de sensibilidade.</i>	67
<i>Tabela 5 Descrição da modelagem numérica inserida no modelo.</i>	67
<i>Tabela 6 Variação da precipitação.</i>	68
<i>Tabela 7 Concentração média de Condutividade, Turbidez, Sólidos Suspensos e Dissolvidos.</i>	80
<i>Tabela 8 Análise estatística da concentração (mg/l) das variáveis para o Iate Clube.</i>	86
<i>Tabela 9 Análise estatística da concentração (mg/l) das variáveis para CO.</i>	86
<i>Tabela 10 Valores de referência mais frequentemente encontrados no escoamento pluvial urbano evidenciados por Campana (2010).</i>	86
<i>Tabela 11 Resultado da modelagem hidrológica de vazões na galeria do Iate Clube.</i>	93
<i>Tabela 12 Resultado Simulação de qualidade d'água - série do nitrogênio.</i>	97
<i>Tabela 13 Resultado Simulação de qualidade d'água para fósforo e DQO.</i>	98
<i>Tabela 14 Resultado Simulação de qualidade d'água por Condutividade, Turbidez e Sedimentos.</i>	99
<i>Tabela 15 Carga total observada e simulada do dia 02/12/13.</i>	100
<i>Tabela 16 Carga total observada e simulada do dia 05/12/13.</i>	101
<i>Tabela 17 Carga total observada e simulada do dia 09/12/13.</i>	102
<i>Tabela 18 Carga total observada e simulada do dia 12/12/13.</i>	103
<i>Tabela 19 Características das bacias de retenção instaladas na bacia, segundo as alternativas.</i>	105
<i>Tabela 20 Percentual de redução de vazão de pico.</i>	114
<i>Tabela 21 Remoção típica em bacias de retenção (Schueler (1997)).</i>	118

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADASA	- Agência Reguladora de Água, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
ADC	- <i>Acoustic Digital Current Meter</i>
AQd	- Neossolo Quartzarênico
BDMEP	- Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
BMP	- <i>Best Management Practices</i>
CAESB	- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
Cd	- Cambissolo
CEB	- Companhia Energética de Brasília
CO	- CO da Universidade de Brasília
CPTEC/INPE	- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CSTR	- <i>Continuous Stirred Tank Reactor</i>
DEM	- Modelo de Elevação Digital
DF	- Distrito Federal
DNIT	- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMC	- <i>Event Mean Concentration</i>
EPA	- <i>Environmental Protection Agency</i>
EQM	- Erro Médio Quadrado
EUA	- Estados Unidos da América
GDF	- Governo do Distrito Federal
H-ADCP	- <i>Horizontal Acoustic Doppler Current Profiler</i>
Hi	- Solos Hidromórficos
HLd	- Plintossolo Distrófico
HPd	- Espodossolo
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAM	- Instituto Brasília Ambiental
IDF	- Intensidade Duração Frequência
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
km	- Quilômetros
km <sup>2</sup>	- Quilômetros quadrados
km <sup>3</sup>	- Quilômetros cúbicos
L	- Litros
LEd	- Latossolo Vermelho
LID	- <i>Low impact development Practices</i>
LVd	- Latossolo Vermelho-Amarelo
m	- Metros
m <sup>3</sup> /s	- Metros cúbicos por segundo
MLE	- Máxima Verossimilhança
mm	- Milímetros
mm/h	- Milímetros por hora
MQO	- Mínimos Quadrados
MUSLE	- Equação Universal de Perda de Solos Modificada

N	- Nitrogênio
N	- Coeficiente de Manning
NH <sub>3</sub>	- Amônia
NO <sub>2</sub>	- Nitrito
NO <sub>3</sub>	- Nitrato
NOVACAP	- Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil
NSE	- Nash-Sultcliff
P	- Fósforo
PDDU	- Plano Diretor de Drenagem Urbana
PE	- Argissolo Vermelho-Amarelo
Pt	- Fósforo Total
PTARH	- Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos
Q	- Vazão
Q <sub>p</sub>	- Vazão de pico (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
R <sup>2</sup>	- Coeficiente de Correlação
SCS	- <i>Soil Conservation Service</i>
SDT	-Sólidos Dissolvidos Totais
SEDHAB	- Secretaria de Habitação e Urbanismo
SLU	- Serviço de limpeza urbana
SS	- Sólidos Suspensos
SWMM	- <i>Storm Water Management Model</i>
TERRACAP	- Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil
TR	- Tempo de recorrência ou Tempo de retorno
UNB	- Universidade de Brasília
US	- <i>United States</i>
USDA	- <i>United States Department of Agriculture</i>
USEPA	- <i>United States Environmental Protection Agency</i>
RC	- <i>Rating Curve</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2 OBJETIVO .....</b>	<b>19</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
3.1 O CICLO HIDROLÓGICO E A URBANIZAÇÃO .....	20
3.2 GESTÃO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS .....	23
3.3 QUALIDADE DA ÁGUA .....	26
3.4 MEDIDAS COMPENSATÓRIAS .....	30
3.4.1 <i>Bacias de Infiltração</i> .....	32
3.4.2 <i>Bacias de Detenção</i> .....	33
3.4.3 <i>Bacias de Retenção</i> .....	33
3.5 MODELOS HIDROLÓGICOS .....	34
3.5.1 <i>Parametrização</i> .....	36
3.5.2 <i>Calibração</i> .....	36
3.5.3 <i>Verificação</i> .....	38
3.6 STORM WATER MANAGEMENT MODEL - SWMM .....	38
<b>4 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>42</b>
<b>5 METODOLOGIA.....</b>	<b>48</b>
5.1 MONITORAMENTO.....	48
5.1.1 <i>Determinação da vazão</i> .....	51
5.1.2 <i>Levantamento dos dados de precipitação</i> .....	53
5.1.3 <i>Qualidade d'água</i> .....	54
5.2 MODELAGEM NUMÉRICA DA BACIA DO IATE.....	56
5.2.1 <i>Rede de drenagem pluvial</i> .....	57
5.2.2 <i>Rede de Microdrenagem</i> .....	57
5.2.3 <i>Dados climatológicos</i> .....	57
5.2.4 <i>Determinação das Sub-Bacias de Contribuição</i> .....	58
5.2.5 <i>Configuração das características dos elementos de drenagem</i> .....	58
5.2.6 <i>BuildUp – acúmulo e WashOff– lavagem de poluentes nas sub-bacias de contribuição</i> .....	60
5.2.7 <i>Parâmetros das Bacias de Detenção</i> .....	63
5.2.8 <i>Alternativas de modelagem das bacias de retenção</i> .....	64
5.3 SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA .....	65
5.3.1 <i>Calibração</i> .....	66
5.3.2 <i>Verificação</i> .....	67
5.3.3 <i>Simulação das Bacias de Detenção</i> .....	67

<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>70</b>
6.1 MONITORAMENTO.....	70
6.1.1 Levantamento da Vazão - Curva Chave.....	70
6.1.2 Levantamento da Precipitação.....	73
6.1.3 Levantamento da Qualidade da Água.....	77
6.2 MODELAGEM NUMÉRICA DA BACIA DO IATE CLUBE.....	87
6.2.1 Determinação das Sub-bacias de Contribuição da bacia do Iate Clube.....	87
6.2.2 Rede de Macrodrenagem da bacia do Iate Clube.....	89
6.2.3 Rede de Microdrenagem parcial – Superquadras 202 e 402 Norte .....	89
6.3 SIMULAÇÕES DE VAZÃO.....	91
6.3.1 Resultados da Simulação .....	91
6.3.2 Avaliação da Microdrenagem.....	94
6.4 SIMULAÇÕES DE QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO IATE CLUBE .....	95
6.5 SIMULAÇÃO DAS BACIAS DE DETENÇÃO .....	104
6.5.1 Impacto das Bacias de Detenção no regime de vazões.....	105
6.5.2 Efeito das Bacias de Detenção na qualidade da água.....	115
<b>7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>119</b>
7.1 RECOMENDAÇÕES .....	121
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>122</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A ligação do homem com os recursos hídricos é uma constante observada em toda a história, permitindo a formação de aglomerados junto a esses corpos hídricos, com a finalidade de facilitar os processos básicos de higiene e alimentação. Com o desenvolvimento desses aglomerados aumentaram também os problemas ambientais devido à poluição e à alteração dos processos hidrológicos, advindos dessas transformações antrópicas (Baptista 2005).

Uma vez que a relação existente entre a população e os recursos naturais leva à geração de um terceiro elemento que é a poluição. O crescimento da população aumenta o consumo dos recursos naturais, que incrementam a produção de resíduos e poluentes, e degradação da qualidade desses recursos (Braga, 2005; Arruda, 2010).

Os problemas ambientais associados ao desenvolvimento socioeconômico dessas cidades geram, entre outros fatores, a necessidade do gerenciamento das águas urbanas de forma integrada. Essa necessidade vem avançando nos discursos técnicos e políticos brasileiros (Righetto, 2009), mais especificamente, ao se tratar da metodologia utilizada para concepção de sistemas de drenagem urbana, que tradicionalmente leva a um aumento da velocidade do escoamento e da magnitude dos picos de cheia, devido principalmente ao acréscimo da eficiência hidráulica dessas estruturas (Collodel, 2009).

Outro aspecto importante é o carreamento de resíduos depositados nas superfícies que são transportados nas formas dissolvidas, em suspensão, ou vinculadas aos sedimentos dos cursos hídricos, alterando a qualidade da água (Aprígio, 2012). Portanto, a abordagem para tratar a questão da drenagem urbana levanta questionamentos complexos que envolvem aspectos ambientais, sanitários e paisagísticos, além do técnico.

A complexidade desse enfoque requer uma gama de informações, muitas vezes não existentes, e a manutenção do sistema. A dificuldade de monitoramento e do controle da qualidade dos corpos hídricos junto a aglomerados urbanos permeia as cidades brasileiras, que apresentam condições específicas de drenagem das águas pluviais (Righetto, 2009).

Nesse contexto, o Distrito Federal (DF) vem enfrentando problemas em função do aumento da demanda por recurso hídrico, causada pelo crescimento demográfico, desenvolvimento econômico e da redução de sua oferta propiciada por fatores de degradação ambiental como o

uso desordenado do solo (Soares Júnior, 2000). O governo do DF (GDF) prevê obras para a mitigação de alagamentos em alguns pontos críticos da área urbana, com o objetivo de minimizar a carga poluidora carreada pelos sistemas de águas pluviais ao Lago Paranoá, por meio da detenção dos sedimentos (ADASA, 2013).

O Lago Paranoá está inserido na bacia hidrográfica do Lago Paranoá, única bacia integralmente localizada em território do DF, o que possibilita um total controle sobre os mananciais que abastecem esse lago. Há uma necessidade do entendimento e conhecimento da influência das Regiões Administrativas nessa bacia, buscando sempre reduzir os riscos associados à ocorrência de eventos extremos e efeitos das diversas atividades que ocorrem no espaço urbano.

Dentre os múltiplos usos do solo Paranoá, destacam-se o paisagismo, recreação, esportes náuticos, além da geração de 2% de energia elétrica consumida no DF. Atualmente, está sendo proposta pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) a utilização do lago como fonte de abastecimento de água aos moradores do Plano Piloto e região.

A bacia do Iate Clube é uma das 28 sub-bacias afluentes do Lago Paranoá que, foram divididas de acordo com as condições das redes de macrodrenagem da região, conforme apresentado no Plano Diretor de Drenagem Urbana do DF, elaborado pelo GDF em 2009. O GDF pretende construir na bacia do Iate Clube dois reservatórios de detenção ao longo das galerias de macrodrenagem e uma bacia de qualidade, próximo à macrogaléria, como a minimização de alagamentos e minimização da carga poluidora que chega ao lago Paranoá (GDF, 2008).

Existe ainda a bacia do Centro Olímpico (CO), também afluente do Lago Paranoá, que tangencia a bacia do Iate clube, porém com características de uso e ocupação do solo diferenciada. Essas bacias vêm sendo monitoradas em termos de qualidade da água e vazão, o que permite realizar estudos que visam, entre outros aspectos, avaliar a diferença do uso e ocupação do solo na qualidade da água e a variabilidade espacial da precipitação e escoamento superficial das áreas.

Esses estudos, que atentam para soluções de problemas urbanos, principalmente no que diz respeito à pressão sobre os recursos hídricos, são essenciais, uma vez que estão entre os

elementos que impactam o desenvolvimento urbano associados com o escoamento das águas pluviais encontrados na lista dos mais preocupantes (Villanueva *et. al*, 2011).

Para operação e manutenção adequadas de um sistema, faz-se necessário que os atores envolvidos tenham informação suficiente e confiável, quanto aos aspectos metodológicos e de medição, em relação às alternativas, consequências e medidas existentes. Essa necessidade não se difere ao considerar os sistemas urbanos de gestão e manejo dos recursos hídricos, ou seja, ao se avaliar o sistema de drenagem urbana.

Modelos hidrológicos computacionais têm como objetivo auxiliar a compreensão da dinâmica hidrológica, além de possibilitar estudos e análises de alternativas à mitigação, alterações nas condições da bacia hidrológica, sendo utilizados principalmente para antever eventos e permitir a avaliação adoção de medidas preventivas e/ remediadoras (Tucci, 2005).

Entre os modelos hidrológicos computacionais, tem-se o *Storm Water Management Model* – SWMM, criado pela Agência Americana de Meio Ambiente (EPA) em 1971, como objetivo de simular a quantidade e a qualidade do escoamento superficial de bacias urbanas permitindo aplicações como a concepção e dimensionamento de componentes da rede de drenagem, dimensionamento de estruturas de retenção, modelagem da poluição difusa e avaliação da eficácia de *Best Management Practices* – BMP.

Propõe-se, portanto, uma metodologia referente à aplicação do SWMM à bacia do Iate que pode auxiliar/subsidiar respostas às prováveis interferências ocasionadas pelas mudanças nas condições da bacia em estudo, como a construção dos reservatórios propostos pelo GDF.

Este documento está organizado em sete itens principais. O item 1 de introdução geral do tema, o item 2 apresenta os objetivos da dissertação, o item 3 a revisão bibliográfica, o 4 apresenta a caracterização da área de estudo, o 5 a metodologia a adotada, o 6 os resultados obtidos e o item as conclusões e recomendações do trabalho.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho teve como objetivo identificar e avaliar os processos hidrológicos, hidráulicos e de qualidade da água nas sub-bacias do Centro Olímpico e do Iate clube, inseridas na Bacia do Paranoá, com características urbanas utilizando-se do monitoramento de vazão e qualidade d'água e modelagem matemática utilizando o programa SWMM.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar a caracterização das sub-bacias de estudo quanto aos aspectos físicos e de uso e ocupação do solo.
- Monitorar e quantificar da vazão efluente das bacias de estudo.
- Levantar a curva-chave para a bacia do Iate Clube.
- Monitorar e analisar as características físico-químicas das águas de drenagem efluentes das sub-bacias em estudo.
- Realizar um levantamento de cargas de poluição difusa lançadas no Lago Paranoá pela rede de drenagem.
- Realizar estudo de simulação de rede de drenagem da sub-bacia do Iate Clube mediante modelagem com o SWMM.
- Avaliar os principais efeitos quantitativos e qualitativos nas águas provenientes da galeria de drenagem em caso de construção de reservatórios de retenção, em diferentes localizações dentro da bacia de estudo.
- Análise da influência da rede de microdrenagem na modelagem.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 O CICLO HIDROLÓGICO E A URBANIZAÇÃO**

A provisão de água suficiente para a crescente demanda da população; os impactos que atingem os processos hídricos e problemas como as mudanças climáticas e a incerteza do recurso são considerados as dificuldades que dominam a questão do recurso hídrico no mundo (Jones, 1997).

Para entender como o sistema natural trabalha e a influência de sua alteração, é preciso estudar os processos associados a esse funcionamento, o que permite avanços, tanto teóricos, como em técnicas de observação, e em sistemas computacionais que fazem análises e simulações com métodos baseados em processos.

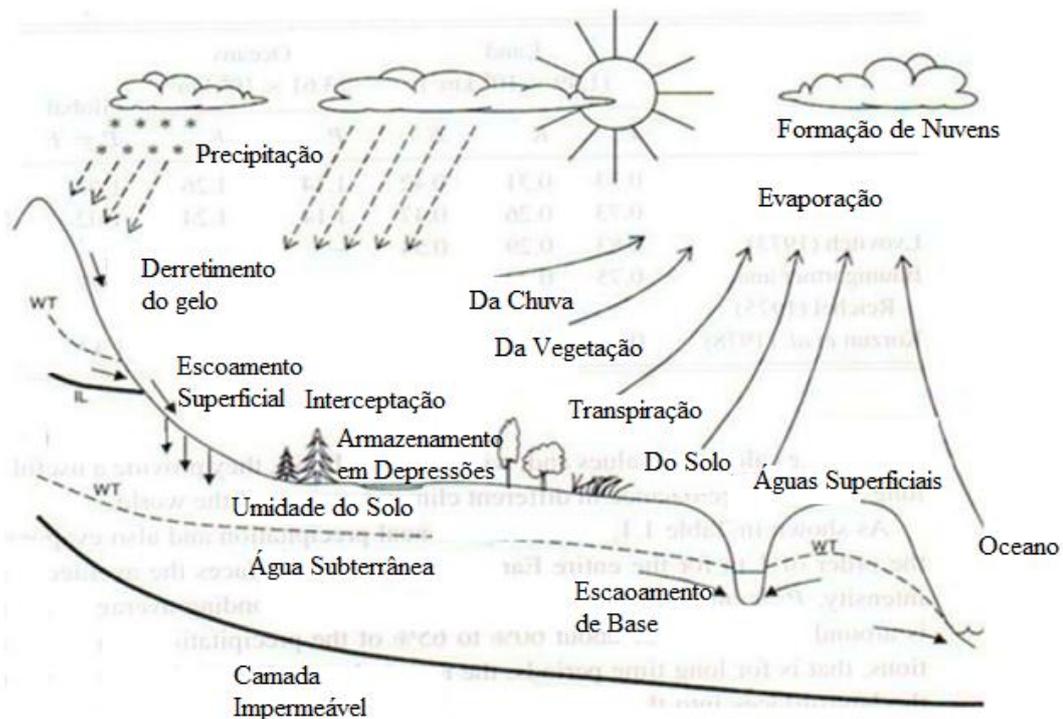
Assim, o entendimento do mais fundamental princípio da hidrologia, que se refere ao caminho percorrido pela água na natureza, como se movimenta em suas diferentes fases pela atmosfera, litosfera, hidrosfera e até mesmo pela biosfera é de suma importância.

A precipitação sobre a superfície terrestre tem sua origem em parte da parcela de água que, evaporada dos oceanos é transportada pelo vento, e da transpiração. Quando esse vapor d'água condensa na atmosfera e precipita sobre o solo, seja por processos de colisão-coalescência ou processo de Bergeron, inicialmente umidifica a superfície do solo com o qual entra em contato e uma parcela é armazenada pela interceptação que ocorre antes de atingir a superfície do solo, que tende a ser evaporada novamente.

Conforme a precipitação tem continuidade, a frente de molhamento se estende pelo solo e parte da precipitação escoar sobre a superfície em forma de escoamento superficial e parte infiltra no solo. O escoamento superficial percorre até um canal onde continua o fluxo até um corpo hídrico maior como um lago ou o próprio oceano.

A água infiltrada no solo pode escoar subsuperficialmente pelas camadas do solo até sair em um curso d'água, ou percolar até as águas subterrâneas, onde, posteriormente contribuirá para um corpo hídrico. Parte dessa água infiltrada permanece no solo e ascende por capilaridade.

As camadas do solo e outras formações geológicas, dentre os quais poros e interstícios podem transmitir água, são chamados aquíferos, que podem ser confinados ou não confinados. Cumprem a função de estocagem e regularização ao armazenar parte da água infiltrada e transporte pelo fluxo de base que leva a água cedo ou tarde até um canal. (Brutsaert, 2010)



**Figura 1** Representação do Ciclo Hidrológico (Adaptado de Brutsaert, 2010).

O processo de urbanização de uma bacia transforma a resposta da mesma aos diferentes tipos de chuva ao acelerar o processo de impermeabilização de sua superfície. Essas mudanças na permeabilidade do solo reduzem a infiltração, aumentam o volume escoado superficialmente e os picos de vazão em relação às condições anteriores à citada urbanização. O armazenamento em depressões da superfície também é reduzido, aumentando ainda mais o excedente da precipitação escoado superficialmente (Brasil, 2005 e FCTH, 1999).

Outros impactos observados são: diminuição do lençol freático e da vazão de base; aumento da carga de poluentes na água pela lavagem das superfícies urbanizadas; erosão do leito dos canais devido ao aumento da vazão e velocidade e inundação na drenagem urbana (redes de condutos e canais naturais e/ou artificiais).

O risco de poluição devido à drenagem urbana, que depende de fatores como: características dos eventos pluviais, produção e acumulação da poluição sobre a bacia, formas de

transferência da poluição para os meios receptores, natureza do meio receptor, seu estado e seus usos (Baptista, 2005); é um exemplo dos impactos observados, cujo local de origem muitas vezes não é possível de identificar exatamente e que com o período de chuvas essas cargas são incorporadas ao escoamento superficial e transportadas nas redes de drenagem até o lançamento final nos corpos de água receptores. (Campana, 2010)

Os principais impactos observados que ocorrem na drenagem urbana no DF são os seguintes:

- 1) Acréscimo das áreas impermeáveis e da velocidade do escoamento tendo como resultado o aumento da vazão e a erosão do solo à jusante dos empreendimentos. Isto está sendo mais grave nas cidades próximas a Brasília, onde a densificação urbana é maior;
- 2) Maior produção de resíduos sólidos pela população, que se junta aos sedimentos gerados pelo aumento da velocidade do escoamento. Este conjunto de sólidos reduz a capacidade de escoamento dos condutos e rios da rede de drenagem do Distrito federal;
- 3) Aumento da poluição difusa devido à lavagem das ruas. Esta poluição compromete os reservatórios como o Lago Paranoá, que recebe o esgoto coletado e a carga de pluvial, limitando o uso deste e outros mananciais para abastecimento (GDF, 2009).

O redesenho do sistema de drenagem é fundamental para tratar as questões que levam ao agravamento da situação da maioria das cidades brasileiras, que aumentam permanentemente as vazões produzidas a montante com a impermeabilização do solo, retirando o foco higienicista de sempre drenar ao criar estruturas para conduzir a água para fora das cidades. Essa abordagem, ainda muito usada nas cidades brasileiras, não considera os cursos d'água, ocupa áreas de várzeas, enterram os cursos d'água naturais sob as ruas e dessa forma vêm gerando os problemas de alagamentos, inundações urbanas e poluição difusa nos corpos receptores.

A incorporação prática dos conceitos que já vem sendo modificados mostra-se como o real desafio atualmente, como as *BMP*. Essa mudança conceitual vem deixando uma discussão da gestão de canais para a gestão da bacia hidrográfica urbana, que também considera fatores complexos como o planejamento do uso do solo e gestão da própria cidade. Fala-se, então, da drenagem urbana sustentável, que avança em abordagens como as descritas por Baptista *et. al.* (2005) sobre técnicas compensatórias ou em Souza, Cruz e Tucci (2012).

### **3.2 GESTÃO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS**

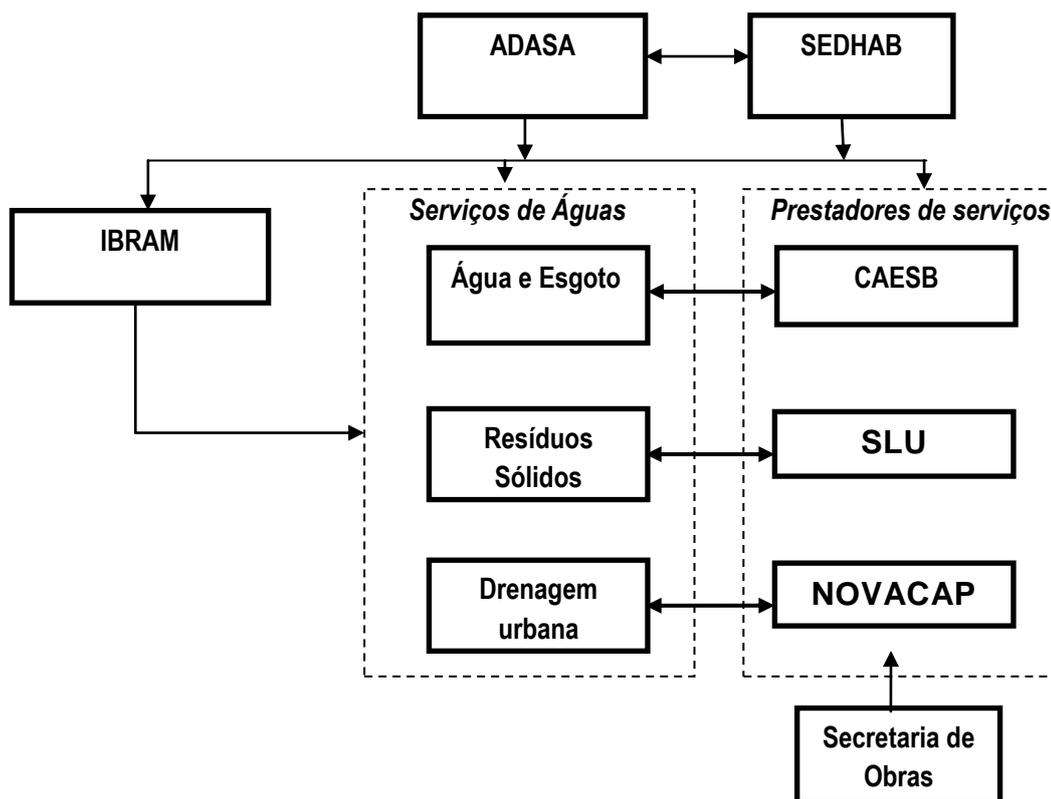
A estrutura da Gestão de Águas Pluviais se baseia nos seguintes grupos de componentes: Planejamento urbano; Serviços de águas urbanas, que compreende abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos e drenagem urbana; metas dos serviços como conservação do meio ambiente urbano e qualidade de vida, no qual estão incluídas a redução de cheias e a eliminação de doenças de veiculação hídrica; e o Institucional que se baseia no gerenciamento dos serviços, legislação, capacitação e monitoramento de forma geral. (GDF, 2009)

O governo brasileiro estabelece, por meio da Lei de Saneamento Básico nº 11.445 de 2007, que drenagem e manejo de águas pluviais urbanas são o conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas drenadas nas áreas urbanas, e está contido dentro do conjunto de ações que definem saneamento ambiental (Brasil, 2007).

O Distrito Federal possui um Plano Diretor de Drenagem Urbana - PDDU elaborado no ano de 2009 pela empresa Concremat Engenharia. Entre os as suas principais finalidades está a definição de diretrizes institucionais, visando estabelecer condições de sustentabilidade para as políticas de drenagem urbana.

O PDDU do DF também visa à caracterização das condições de funcionamento hidráulico das tubulações, galerias, canais a céu aberto, canais naturais, dispositivos de captação e conexão entre redes, de dissipação de energia, bueiros e pontes, as proposições de obras de curto, médio e longo prazo, necessárias para equacionamento dos problemas encontrados na macrodrenagem urbana.

A ADASA, Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal, tem entre suas atribuições o conjunto dos serviços de saneamento básico, incluindo drenagem urbana e resíduos sólidos. Já no que se refere à avaliação, fiscalização e manutenção dos projetos de drenagem urbana no DF, a responsabilidade é da NOVACAP, dependendo de aprovação, por parte do IBRAM, e regulados pela ADASA quando projetos interferem no meio ambiente e recursos hídricos. A Figura 2 esquematiza a relação existente entre os órgãos e aponta o objeto de interesse que possuem.



**Figura 2 Fluxograma Gestão Ambiental no DF (GDF, 2009).**

Observando as atribuições dos serviços de saneamento básico, evidenciam-se os modelos de gestão das águas pluviais têm por objetivo, entre outros, contribuir para o desenvolvimento nacional, fomentar o desenvolvimento científico e tecnológico e minimizar os impactos ambientais com uma abordagem integrada de prevenção de riscos e ordenamento territorial (Baptista, 2005; Brasil, 2007).

No que se refere aos sistemas de esgotos urbanos, eles podem ser de três tipos: sistema unitário, sistema separador parcial e sistema separador absoluto. No sistema unitário, as águas residuárias, as águas de infiltração e as águas pluviais veiculam por um único sistema; no sistema separador absoluto, as águas residuárias e as águas de infiltração veiculam em sistema separado das águas pluviais; e no sistema separador parcial, as águas pluviais provenientes de telhados e pátios são encaminhadas juntamente com as águas residuárias e águas de infiltração para um único sistema de coleta e transporte de esgotos (Tsutiya *et al.*, 2005).

No Brasil é mais comumente utilizado o sistema separador absoluto, que apresenta maior custo quanto à rede de coleta, por utilizar duas redes independentes. No entanto, apresenta vantagens sobre o sistema unitário, que apesar da vantagem de utilizar apenas uma rede, apresenta problemas, como: odor fétido durante as inundações, proliferação de vetores de

doenças em climas quentes e, quando ocorre extravasamento, maior potencial de proliferação de doença, cenário que pode ser agravado com o aumento da frequência dos extravasamentos (Tucci, 2005).

O sistema de drenagem pluvial faz parte do conjunto de melhoramentos públicos existentes em uma área urbana e podem ser definidos como: na fonte quando o escoamento que ocorre no lote, condomínio ou empreendimento individualizado como lote, estacionamentos, área comercial, parques e passeios; microdrenagem que são condutos pluviais ou canais em um loteamento ou de rede primária urbana, projetado para atender a drenagem de precipitações com risco moderado; e macrodrenagem que envolve os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem (PMPA, 2005).

A particularidade no sistema de drenagem urbana é que o escoamento das águas das tormentas sempre ocorrerá independente de existir ou não sistema de drenagem adequado a sua necessidade, o que determinará se os benefícios ou prejuízos à população serão maiores ou menores (CETESB, 1999).

Dentre os princípios que devem nortear os programas de drenagem urbana estão: o problema de destinação de espaço, uma vez que o volume de água presente em um dado instante numa área urbana não pode ser comprimido ou diminuído, devendo ser considerada no processo de planejamento; a visão como parte da infraestrutura urbana ou como um meio para alcançar metas e objetivos em termos mais abrangentes; medidas de controle de poluição como parte essencial num plano de drenagem (FCTH, 1999).

Com o objetivo de prevenir os danos das inundações no sistema de drenagem (incluindo a rede de condutos e os cursos d'água urbanos, naturais ou não), o PDDU do DF prevê ao longo do tempo a implementação de várias medidas e programas para a gestão sustentável da drenagem. Entre eles estão listados para a Região Administrativa de Brasília, por exemplo, a construção de galerias de reforço e de bacias para melhoria da qualidade da água e equalização da vazão.

O serviço de manutenção da drenagem urbana é um desafio, já que envolve a limpeza de condutos e das futuras detenções de material sólido e lixo urbano. Este serviço deve estar integrado ao serviço de limpeza urbana da cidade, já que o volume de resíduos e lixo que chega à drenagem é resultado da limpeza urbana e educação ambiental da coletividade.

Este serviço deve ser preferencialmente preventivo com: limpeza antes da chuva, utilizando-se de previsão meteorológica; identificação das fontes de material sólido e combatê-los; preparado para limpeza das detenções logo após as chuvas.

### **3.3 QUALIDADE DA ÁGUA**

A contaminação da água pluvial ocorre pela lavagem das superfícies e o transporte de sólidos, sendo que grande parte dos poluentes está agregada aos sedimentos, sendo que a qualidade da água pluvial não é melhor que a do efluente de um tratamento secundário, e a quantidade de material suspenso na drenagem pluvial é superior à encontrada no esgoto *in natura* (Tucci, 2005).

Os poluentes mais encontrados são enxofre, metais, pesticidas, compostos orgânicos, fungos, pólen, solo, nutrientes, asfalto, cinzas e compostos químicos, como óxidos, nitritos e nitratos, cloretos, fluoretos e silicatos (Novotny e Chesters, 1981 apud Porto, 1995).

Os poluentes são depositados sobre telhados, ruas e outras superfícies da área urbana, resultando assim na deposição seca. Há também o transporte pela própria chuva, que é chamado de deposição úmida, por meio do qual os gases e as partículas presentes na atmosfera são transportados pela água da chuva e levados ao solo. Esse processo dá origem ao que se conhece como chuva ácida, que possivelmente é o problema principal associado à poluição atmosférica, responsável pela diminuição do pH na água da chuva e danificando os ecossistemas aquáticos e estruturas urbanas (Hetem, 2014).

Carvalho (2008) lista os problemas referentes à contaminação da água pluvial devido ao transporte e depósito de sedimentos das partículas em suspensão, que: degradam o uso consultivo da água, aumentando o custo de tratamento; reduzem a atividade fotossintética ao dificultar a penetração da luz e calor; atuam como catalisador, carreador e fixador para outros agentes poluidores; causam danos durante eventos de cheias que descolam pedras, seixos que colidem com obras hidráulicas, árvores, edifícios, etc.; reduzem a drenagem superficial quando depositados ao longo da bacia e causam erosões das margens e redução de volume d'água.

Uma das fontes associadas à deposição de poluentes em áreas urbanas é a circulação de veículos que apesar de menos que 5% (em peso) da quantidade total dos poluentes presentes nas ruas originarem diretamente de veículos, esses são os mais tóxicos e potencialmente mais prejudiciais para a vida aquática, contribuindo com derrames de combustível, óleo lubrificante, fluido de freio, fluido de arrefecimento, partículas que soltas, como resultado de pneus usados e freios, além de ferrugem, partículas de tinta e pedaços que estão soltos pela vibração (FCTH, 1999).

Outra fonte de poluentes é a deposição inadequada de resíduos sólidos, tais como embalagens, matéria orgânica, como cascas de frutas, excrementos animais, folhas secas, grama cortada e lixo deixados pelas ruas da cidade. A quantidade de lixo deixado nas ruas depende de como a área é ocupada, do movimento de pedestres e veículos do nível de educação e da eficiência do sistema de recolha de resíduos sólidos. (Costa, 2011)

Para a manutenção da qualidade da água, o tratamento da água pluvial deve ser realizado considerando os diferentes tipos de poluentes observados nessas águas evitando a poluição e o comprometimento da vida nos sistemas aquáticos.

Grande parte da poluição que vem na água pluvial é recolhida na primeira parte da chuva, desse modo é mais importante quantificar o número de eventos por ano do que a quantidade de volume retido em cada evento, sendo que a parte inicial da chuva é a mais significativa para detenção (Bach, 2010). Ou seja, retendo esse volume em reservatórios, os sedimentos e poluentes existentes no volume se depositam e reduzem a carga encaminhada para jusante, portanto, existem dois fatores relacionados com este problema: o volume de água retido, relacionado com a chuva inicial, e o tempo que esse volume deverá ficar na detenção, para a deposição dos poluentes. (Righetto, 2012).

Entre os principais poluentes e contaminantes encontrados nas águas de escoamento carreados pela drenagem urbana estão sedimentos, nutrientes, matéria orgânica, micro-organismos, metais pesados, hidrocarbonetos, pesticidas (Gastaldini, 2012). Alguns deles serão detalhados a seguir:

Em geral, áreas pouco desenvolvidas produzem relativamente pouca carga de nutrientes; já áreas agrícolas, residenciais, industriais, comerciais produzem maiores cargas de nutrientes. A propagação de fertilizantes em gramados, campos agrícolas e resíduos de animais contribuem na carga de nutrientes para o escoamento em áreas urbanas, bem como detergentes e resíduos,

que podem apresentar um problema por estimular o crescimento excessivo de plantas dentro do ambiente aquático, podendo contribuir para a eutrofização das massas de água em movimento lento e denso de algas (Tucci, 2006).

Como exemplo, o fósforo, muitas vezes combinado com as partículas finas do solo permanece bloqueado no solo até que o mesmo seja utilizado pelas plantas ou erodido com o solo, fluindo junto com suas partículas como sedimentos suspensos (Piveli, 2006).

O Nitrogênio, apresentado sob as formas de nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal, tem origem, no meio natural, em e vários compostos biológicos e, antropicamente, em lançamento de despejos domésticos, industriais ou fertilizantes. Em um corpo hídrico pode fornecer informações sobre o estágio da poluição ao determinar a forma predominante em que se apresenta, sendo a forma orgânica ou de amônia relacionada ao estágio mais recente enquanto nitrato a mais remota (Von Sperling, 2002).

Os nitratos no solo permanecem muito mais solúveis podendo passar para baixo da zona das raízes até as águas subterrâneas. Este movimento de nitratos nas águas subterrâneas pode causar um risco para a saúde pública, pois altas concentrações de nitrato na água potável podem causar metemoglobinemia infantil (Piveli, 2006).

A concentração de nitrito das águas consumida também é considerada um problema de saúde pública, pois não precisa passar por transformações para ser tóxico ao homem, sendo mais problemático que o nitrato, devido ao seu teor limite de ingestão ser ainda menor. Bem como o nitrogênio amoniacal que também é prejudicial tanto para a saúde humana como para a vida aquática (Piveli, 2006).

Outro fator de atenção quanto à qualidade da água está relacionada às várias doenças humanas que podem ser transmitidas pelo escoamento da água contaminada por fontes fecais. Alguns agentes bacterianos bem documentados incluem o grupo de salmonelas, responsáveis pela febre tifoide, febre paratifoide e febre intestinal, o grupo de *Shigella* pode causar disenteria bacilar, *Vibrio cholerae*, responsável pela cólera e *Escherichia coli* (*E. coli*), que causa gastroenterite (MS, 2006).

Embora não seja diretamente responsável pela doença, os coliformes fecais, encontrados no trato intestinal de humanos, tradicionalmente servem como indicadores microbiológicos para a possível presença de agentes patogênicos. Em comparação com outros poluentes, bactérias e

patogênicos têm tempo de residência relativamente baixo no meio ambiente. No entanto, os parasitas são uma preocupação adicional sob esta categoria geral de poluentes, pois certas doenças infecciosas são transmissíveis aos seres humanos via parasitas comuns, eliminados nas fezes de animais.

Entre os protozoários, dois relativamente comuns que causam doenças intestinais em humanos e de grande preocupação são o *Cryptosporidium spp.* e a *Giardia spp.*, sendo que uma característica preocupante destes organismos é a sua resistência a influências ambientais e desinfetantes.

Os resíduos sólidos são a primeira preocupação referente à poluição da água. Estes materiais incluem detritos como garrafas, frascos, latas, caixas de papelão, sacos de papel, jornais, recipientes de plástico e embalagens, preservativos, agulhas, folhas, entre outros. Esse tipo de resíduos é inadvertidamente, ou intencionalmente, descartado nas áreas urbanas e, posteriormente, transportado pelas águas pluviais até o corpo receptor, onde ele pode se dispersar, flutuar, ser depositado nas praias, encostas ou aterros, ou se concentrar no fundo da drenagem (Zanta, 2003).

Sedimentos são um dos poluentes mais significativos criados pelo desenvolvimento das áreas urbanas e transferidos pelo seu escoamento nessas áreas urbanizadas. Sedimentos são desagregados em toda a bacia hidrográfica devido ao efeito da energia gerada com a precipitação sobre o solo que produz a desagregação de suas partículas, gerando os sedimentos e transportando-os pelo sistema de drenagem. Outra parcela dos sedimentos pode ser gerada naturalmente pela erosão das margens dos rios. A erosão do solo aumenta quando novos loteamentos são abertos e é retirada a cobertura do solo; na criação de canteiros de obras, por falta de proteção das superfícies e transporte de material usado na construção (Tucci, 1997).

Altas concentrações de sedimentos em suspensão em rios e lagos causam muitos efeitos adversos, incluindo aumento da turbidez, redução da penetração da luz, redução da captura de presas para os predadores que se alimentam de vista, entupimento das brânquias ou filtros dos peixes e redução da viabilidade de pesca, e soma-se o fato do sedimento podem carrear aderidos a ele, poluentes como nutrientes e matéria orgânica (Von Sperling, 2002).

Outros impactos estão associados à deposição desse sedimento no fundo do corpo hídrico, que incluem o abafamento dos bentos, alterações na composição do substrato de fundo, e o enchimento rápido em pequenos represamentos que criam a necessidade de dragagem dispendiosa e reduções do valor estético do corpo hídrico. O sedimento também é um vetor eficiente de toxinas e metais vestigiais. Uma vez depositados, os poluentes nestes sedimentos enriquecidos podem ser remobilizados em condições ambientais adequadas e ameaçar a vida bentônica.

### **3.4 MEDIDAS COMPENSATÓRIAS**

No Brasil, a abordagem tradicional para a solução/prevenção dos problemas de drenagem urbana nas cidades tem sido baseada no princípio higienista do início do século passado. Somente a partir da década de 90 o uso de técnicas alternativas de Práticas da Melhor Gestão conhecidas como *BMP* começaram a ser introduzidas. Entre essas técnicas, o armazenamento através de bacias ou reservatórios de retenção tem sido a mais utilizada.

Há uma variedade de opções técnicas disponíveis para o gerenciamento de escoamento urbano. Estas medidas alternativas tendem a ser mais eficazes quando implementadas como parte de um programa de gestão de águas pluviais abrangente que inclui adequada seleção, concepção, construção, inspeção e manutenção (USEPA, 1999).

Essas técnicas compensatórias baseiam-se na retenção e na infiltração das águas precipitadas, visando o rearranjo das vazões, diminuição do volume escoado, redução da probabilidade de inundações e ganhos na qualidade da água (Baptista, 2005).

Podemos citar experiências como as que ocorreram em: *Belo Horizonte*, onde o Plano Diretor Urbano de Belo Horizonte, de 1996, prevê áreas permeáveis de acordo com a zona da cidade, permitindo ao proprietário substituir a área permeável por um reservatório na relação de 30 litros para cada 1m<sup>2</sup> impermeabilizado. Já em *Guarulhos* a legislação se baseia na construção de reservatório para controle da drenagem urbana para áreas maiores ou iguais a 1 hectare, estabelecendo critérios de construção de retenção e detenção, mas não quanto à manutenção de vazão pré-existente. *São Paulo* também possui legislação que estabelece a construção de reservatório para lotes acima de 500 m<sup>2</sup>, mas não determina uma vazão limite para entrada na rede pública.

No Caso de *Porto Alegre*: o PDDUA prevê, na legislação, alguns instrumentos importantes para a drenagem urbana de acordo com o enquadramento das áreas: (a) Área de ocupação rarefeita, medidas que controlem a contaminação das águas, não alterem a absorção do solo e não tenham risco de inundação; (b) Áreas de contenção de crescimento urbano, que são áreas que podem ser definidas em função da densificação atual e seu futuro agravamento de restrições pelo aumento das inundações ou dos condicionantes de drenagem; (c) Áreas de Revitalização que representam áreas de patrimônio ambiental ou relevante para a cidade que necessitam tratamento especial.

As técnicas compensatórias podem ser agrupadas em duas grandes categorias: estruturais e não estruturais. As técnicas estruturais são aquelas usadas para tratar a água da chuva em cada ponto de geração ou de descarga, seja no sistema de galerias de águas pluviais, ou em corpos hídricos; e as não estruturais incluem uma gama de prevenção da poluição, educação ambiental, gestão e práticas destinadas a limitar a conversão de chuva para o escoamento e evitar a entrada de poluentes escoados superficialmente no corpo receptor (USEPA, 1999 e Baptista, 2005).

Outra possível classificação para as medidas compensatórias em drenagem urbana, utilizada pela *ASCE National Stormwater BMP Data base* é feita com base nos sistemas adotados como:

- Sistemas de infiltração, que capturam um volume de escoamento superficial e infiltram no solo. Esse sistema inclui bacias de infiltração, sistemas de pavimento poroso, trincheiras de infiltração ou poços que inclui entre, suas finalidades o controle da quantidade de água e controle de qualidade da água.

- Sistemas de Detenção, que capturam um volume escoado e retêm temporariamente esse volume para posterior liberação gradual para o sistema de drenagem. São projetados para esvaziar completamente após os eventos de escoamento e, portanto, fornecer, principalmente, o controle da quantidade de água, sem priorizar o controle de qualidade da água.

- Sistemas de Retenção, que capturam um volume de escoamento e mantêm esse volume até que seja deslocada em parte ou na totalidade pela captura do próximo evento, Incluem lagoas úmidas e de outros sistemas como tubos ou tanques subterrâneos. Esses sistemas podem fornecer a melhoria na quantidade de água e controle de qualidade.

- Sistemas Alagados que são construídos semelhantes aos sistemas de retenção e detenção, porém, uma grande parte da área contém vegetação de zonas húmidas.

- Sistemas de Filtração que utilizam uma combinação de um meio de filtração granulares tais como areia, o solo, material orgânico, de carbono ou de uma membrana para eliminar componentes encontrados no escoamento.

- Sistemas de Vegetação, biofiltros, como valas e tiras de filtro que são projetados para transportar e tratar o fluxo superficial;

- Minimizando superfícies impermeáveis.

A eficácia destes sistemas depende do estabelecimento de técnicas e metodologias de dimensionamento, de forma a reduzir e mitigar os problemas causados nos meios hídricos receptores.

#### 3.4.1 Bacias de Infiltração

Bacias de infiltração são frequentemente utilizadas para a gestão de águas pluviais, embora sua evolução em longo prazo não seja bem compreendida nem controlada, uma vez que a variabilidade da infiltração do solo necessita de maiores investigações. Os dois principais problemas encontrados são os de obstrução, quando as partículas de sedimentos depositadas se agregam e não permitem a infiltração da água, o que compromete a capacidade hidráulica da bacia, e possível contaminação do solo e do lençol freático. (Dechesne et. al., 2004)

Bacias de infiltração são quase sempre colocadas *off-line*, e são projetados para interceptar apenas um determinado volume de escoamento, sendo que qualquer excesso de volume será ignorado. A bacia pode ou não ser revestidas com plantas, que ajudam a evitar a migração dos poluentes e suas raízes podem aumentar a permeabilidade dos solos, aumentando assim a eficiência da bacia.

Sua finalidade principal é a de simplesmente transformar um fluxo de água de superfície em um fluxo de água subterrânea e para remover os poluentes através de mecanismos como a filtração, adsorção e conversão biológica, como a água se infiltra através do solo subjacente.

Além da remoção de poluentes, bacias de infiltração são úteis para ajudar a restaurar ou manter a hidrologia de pré-desenvolvimento em uma bacia hidrográfica, ou seja, a infiltração pode aumentar o lençol freático, aumentar fluxo de base e reduzir a frequência de eventos de inundação.

### 3.4.2 Bacias de Detenção

Bacias de detenção são projetadas para interceptar um volume de água da chuva, reter temporariamente a água e liberá-la logo após o evento, sendo seu principal objetivo controlar a quantidade, reduzindo a vazão de pico das descargas de águas pluviais, tendo poucos benefícios de qualidade da água (Akan, 2010).

Elas são projetadas para não manter um volume do conjunto permanente entre os eventos de escoamento, sendo que a maioria das bacias são concebidas para esvaziar num período inferior a 24 horas (USEPA, 1999).

A eficiência do tratamento de espaços de detenção é geralmente limitada à remoção de sólidos suspensos e contaminantes associados devido ao assentamento gravidade. A eficiência pode ser aumentada através da incorporação de uma câmara *forebay* ou pré-sedimentação para a acumulação de sedimentos grosseiros, o que facilita a limpeza periódica, a fim de impedir a “lavagem” por eventos subsequentes de escoamento.

Para determinar a eficácia de longo prazo de bacias de detenção, tendo em conta todos os tamanhos de eventos de tempestade e variações no volume de armazenamento disponível na bacia, uma abordagem de simulação contínua é mais útil, uma vez que, supostamente, duplica a ocorrência natural de eventos de escoamento (Akan, 2010).

### 3.4.3 Bacias de Retenção

Bacias de retenção, também conhecida como “lagoas molhadas”, são projetadas para interceptar um volume de escoamento de águas pluviais e para fornecer armazenamento e tratamento deste volume de enxurrada. A água que ultrapassa o nível da bacia é com o escoamento dos eventos subsequentes.

Bacias de retenção, quando bem concebido e mantido, pode ser BMP extremamente eficaz, proporcionando a melhoria da qualidade da água e controle de quantidade, bem como o

fornecimento de valor estético e habitat aquático e terrestre para uma variedade de plantas e animais.

A remoção de poluentes, em bacias de retenção pode ocorrer através de diversos mecanismos, sendo o principal a remoção de sólidos em suspensão e poluentes associados por meio de decantação da gravidade.

As plantas aquáticas e micro-organismos também podem fornecer absorção de nutrientes e degradação dos contaminantes orgânicos. As bacias de retenção que incorporem um banco aquático em torno do perímetro da bacia alinhada com a vegetação aquática, podem ter uma eficiência de remoção do poluente adicional (Istenic, 2012)

### **3.5 MODELOS HIDROLÓGICOS**

Os modelos computacionais têm sido usados para simular o comportamento de sistemas aquáticos desde meados dos anos 1960. Modelos capazes de simular a qualidade e a quantidade da água da chuva apareceram na década de 1970, e foram desenvolvidos principalmente por agências do governo dos EUA, como a Agência de Proteção Ambiental – USEPA. Desde então, foram desenvolvidos uma série de modelos de simulação de bacias hidrográficas urbanas, que incluem desde modelos conceituais muito simples a modelos hidráulicos complexos (Zoppou, 2001).

Os modelos hidrológicos podem ser classificados (Tucci, 2005; Zoppou, 2001):

- Quanto ao conceito de probabilidade em estocásticos ou determinísticos;
- Quanto à representação temporal em contínuos ou discretos;
- Quanto à variabilidade espacial em concentrado ou distribuído;
- Quanto aos processos físicos de sua formulação em teóricos ou empíricos,

Uma bacia urbana é composta de vários tipos de usos do solo que produzem diferentes volumes de escoamento, tempo de pico e vazão. A modelagem de bacias hidrográficas permite a integração de todas estas características variadas. Assim, os modelos hidrológicos de águas pluviais urbanas devem ser capazes de simular os fluxos e o transporte de poluentes em áreas impermeáveis e permeáveis através de canais e redes de tubulação.

Entre os modelos que permitem de simular quantidade e qualidade d'água em ambientes urbanos se destacam:

- DR3M–QUAL (Alley e Smith,1982), desenvolvido pelo *U. S. Geological Survey*, onde é possível representar elementos de escoamento superficial, de canal e de tubulação e reservatórios.

- HSPF (Bicknell *et al.*, 1993; Johanson *et al.*1980, 1984), desenvolvido em meados dos anos 1970, pela EPA, para modelar uma ampla gama de processos hidrológicos e de qualidade da água em bacias hidrográficas agrícolas e rurais, porém, bacias hidrográficas urbanas também podem ser simuladas.

- SWMM (Huber e Dickinson, 1988; Huber *et al.*, 1984; Roesner *et al.*, 1988) será descrito em mais detalhes no próximo tópico.

- STORM (Hydrologic Engineering Center, 1977) foi desenvolvido por *U.S. Army Corps of Engineers*. É capaz de simular o escoamento e cargas poluentes provenientes de bacias hidrográficas urbanas e rurais, em resposta à precipitação. É um modelo contínuo, com passo de tempo horário, mas pode ser utilizado para eventos.

- Wallingford Model (Bettess *et al.*, 1978; Price, 1978; Price e Kidd, 1978) é um conjunto de modelos desenvolvidos no Instituto de Pesquisa Hidráulica, Wallingford, Reino Unido. Ele inclui um modelo chuva-vazão, um modelo simples e completo de roteamento dinâmico e um módulo de qualidade da água.

- BRASS (Colonand McMahon, 1987; McMahon *et al.*, 1984), foi desenvolvido por *U.S. Army Corps of Engineers* para fornecer apoio à decisão de gestão de inundações para a operação de um sistema de reservatório, e como um modelo de projeto.

- HEC–5Q (Hydrologic Engineering Center, 1986), desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center* das *U.S. Army Corps of Engineers*, utilizado para auxiliar na operação de reservatórios em um sistema.

- QUAL2E– UNCAS (Brown e Barnwell, 1987) é um modelo da EPA desenvolvido para simular a qualidade da água, concebido como uma ferramenta de planejamento, podendo simular o transporte de poluentes.

- WQRRS (Hydrologic Engineering Center, 1978), também desenvolvido pelo *U.S. Army Corps of Engineers*, foi projetado para simular a quantidade e qualidade da água do modelo dentro de uma bacia. É composto por três módulos independentes: módulo de reservatório, módulo de fluxo hidráulico e o módulo de qualidade de fluxo, que podem ser acoplados, se necessário.

A complexidade dos processos de qualidade da água e fluxo em ambiente urbano é a razão para a constante evolução desses modelos de bacias hidrográficas urbanas. A dificuldade de implementar modelos sofisticados e coletar dados em tempo real em um ambiente com transientes muito rápidos requer a criação de modelos mais operacionais, que também podem ser utilizados como modelos de planejamento, ou acoplados a outro já utilizado.

### 3.5.1 Parametrização

A parametrização é estruturada de forma que permita as variações espaciais das características da área sejam representadas. O número de parâmetros e variáveis em um modelo é, em princípio, determinado pela sua complexidade, ou seja, a capacidade de um modelo em simular os sistemas de bacias depende de quanto esse sistema é descrito pelos parâmetros de entrada (Cleverland, 2009).

Modelos hidrológicos são geralmente parametrizados por estimativas de parâmetros da topografia e as propriedades físicas dos solos, aquíferos e uso do solo da bacia. A confiabilidade das predições do modelo depende da qualidade em que a estrutura do modelo é definida e como ele é parametrizado. Contudo, a estimativa dos seus parâmetros é difícil devido às grandes incertezas envolvidas na determinação de seus valores, sendo que alguns não podem ser medidos diretamente no campo. Portanto, um modelo de calibração é necessário para melhorar seu desempenho (Liu et al. 2005).

### 3.5.2 Calibração

Os erros introduzidos na parametrização de um modelo hidrológico e hidráulico podem, geralmente, ser reduzidos por meio do processo de calibração do modelo, ou seja, pelo ajuste dos parâmetros com o objetivo de diminuir a distância entre os dados observados e os dados simulados, de modo que a resposta da modelagem prevista para um evento reproduza adequadamente a resposta observada no ambiente (Choi, 2002).

Mesmo os modelos baseados em parâmetros físicos normalmente necessitam de ajustes devidos às diferenças entre a escala de medição e a escala de modelagem, e a limitação e incertezas do monitoramento de variáveis e processos (Singh, 2012).

Os métodos de calibração podem ser manuais, usando processos de tentativa e erro para ajuste dos parâmetros, ou automático, que se baseia em algoritmos computacionais para alcançar o ajuste dos parâmetros. Para realizar a calibração alguns elementos devem ser definidos, como a função objetivo e os dados observados de calibração, sendo que para calibração automática há necessidade ainda do algoritmo de otimização (Sorooshian e Grupta, 1995).

As funções objetivas são definidas por uma equação usada para medir a diferença entre os dados de saída simulados pelo modelo e os observados, sendo mais comumente adotadas: Erro Médio Quadrado (EQM), Máxima Verossimilhança (MLE), Mínimos Quadrados (MQO), Nash-Sultcliff (NSE) e Coeficiente de Correlação ( $R^2$ ).

O NSE descreve a variância em relação aos dados observados na escala temporal e é mais sensível aos erros nas vazões máximas do que nas vazões mínimas (Tucci, 2004). Seus valores variam entre  $-\infty$  a 1,0. Quando o valor de NSE é maior ou igual a zero isso significa que já está melhor que estimar o valor do dado observado pela média. Segundo Van Liew *et al.* (2003) valores de NSE maiores que 0,5 são satisfatórios, e é dado por:

$$\frac{\sum_{t=1}^n (Q_0 - Q_m)^2}{\sum_{t=1}^n (Q_0 - \bar{Q}_0)^2} \quad (1)$$

onde  $Q_0$  é a variável observada,  $Q_m$  é a variável estimada pelo modelo,  $\bar{Q}_0$  é a variável média observada e  $t$  é o número de dados do evento.

O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) representa a associação linear entre as dados observados e calculados. O alcance varia de -1 a 1, com perfeita associação igual à unidade. O  $R^2$  é dado pela equação (2), em que os valores de  $Q$  representam a matriz de dados observados, os valores de  $\hat{Q}$  a matriz de dados estimados pelo modelo,  $\bar{Q}_0$  a média dos dados observados e  $\bar{\hat{Q}}$  a média dos dados estimados.

$$\frac{(\sum_{t=1}^n (Q - \bar{Q}_0)(\hat{Q} - \bar{\hat{Q}}))^2}{\sum_{t=1}^n (Q - \bar{Q}_0)^2 \sum_{t=1}^n (\hat{Q} - \bar{\hat{Q}})^2} \quad (2)$$

### 3.5.3 Verificação

A verificação é um termo bastante conhecido na hidrologia e na modelagem ambiental, comumente usado para indicar um procedimento com objetivo de avaliar o desempenho da modelagem ou simulação. A verificação do modelo é feita com uma série de dados observados, os quais compõem uma série diferente da utilizada na calibração, ou seja, é uma forma de avaliar se a calibração feita para o modelo em um período está sendo efetiva de modo a permitir um resultado representativo em outros momentos da simulação (Tucci, 2005)

O desempenho do modelo é geralmente melhor durante o período de calibração do que o período de verificação, um fenômeno chamado de divergência (Sorooshian e Gupta, 1985). Quando o grau de divergência é considerado inaceitável, conforme a característica da função objetivo, o modelador tem que examinar a estrutura do modelo e do processo de calibração para analisar se as hipóteses são válidas ou inadequadas, e rever as inconformidades.

### 3.6 STORM WATER MANAGEMENT MODEL - SWMM

O SWMM foi o primeiro modelo computacional desenvolvido para análise qualitativa e quantitativa associada ao escoamento gerado em áreas urbanas (Garcia, 2005), foi projetado como um modelo de evento e para simular qualidade da água e quantidade de escoamento (Maidment, 1992). Ele permite a simulação de uma ampla gama de recursos de hidrologia urbana e processos de qualidade da água, e opera com movimento dos poluentes da superfície do solo das áreas modeladas para sistemas de esgotamento unitário ou emissários de drenagem.

Usado para simular os sistemas de drenagem de água e escoamento decorrente de tempestade, que incluem canais, canos e bueiros com armazenamento (Campbell, 2002), apresentava uma estrutura em nove blocos ou módulos, sendo quatro computacionais e cinco de serviços, além do módulo executivo (James *et. al.*, 2003) e (Maidment, 1992). Porém, na versão 5 passou a ser estruturada em módulos que descrevem os ambientes, sendo eles o atmosférico, superfície do solo, água subterrânea, além do módulo de transporte que contém uma rede com elementos de transporte e unidades de armazenamento e tratamento (Rosman, 2010).

A última revisão do SWMM – versão 5.00.22 – foi produzida pelo *National Risk Management Research Laboratory*- Laboratório Nacional de Gestão de Riscos, dos Estados Unidos, pertencente à Agência para Proteção do Meio Ambiente – EPA, em 21/04/2011, com a colaboração da consultoria CDM.

O SWMM representa o comportamento de um sistema de drenagem através de uma série de fluxos de água entre os principais compartimentos do ambiente, que são: o atmosférico, onde ocorre precipitação e depósito dos poluentes sobre a superfície do solo; que recebe a precipitação sob a forma de chuva ou neve; o compartimento de transporte que exporta o fluxo de água por meio da infiltração por meio de escoamento superficial e carreamento de poluentes; águas subterrâneas que recebe a infiltração da superfície do solo, podendo transferir parte da mesma para o compartimento de transporte, conforme esquematizado na Figura 3.

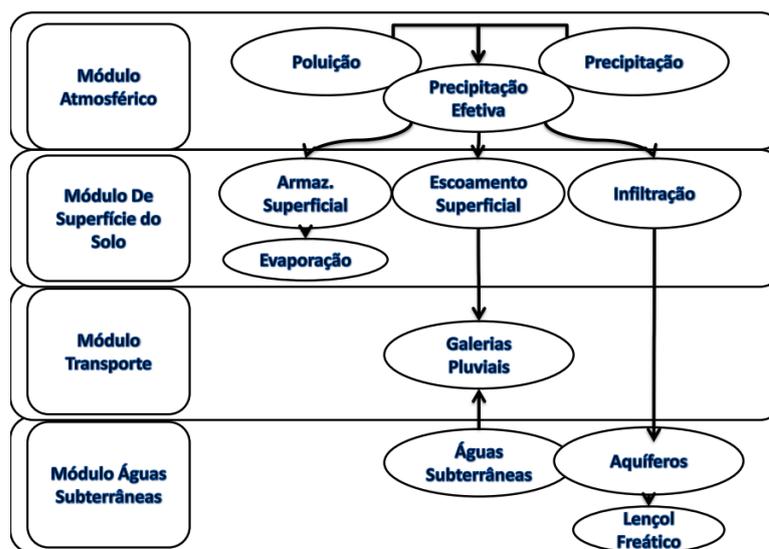


Figura 3 Fluxograma explicativo dos módulos do SWMM.

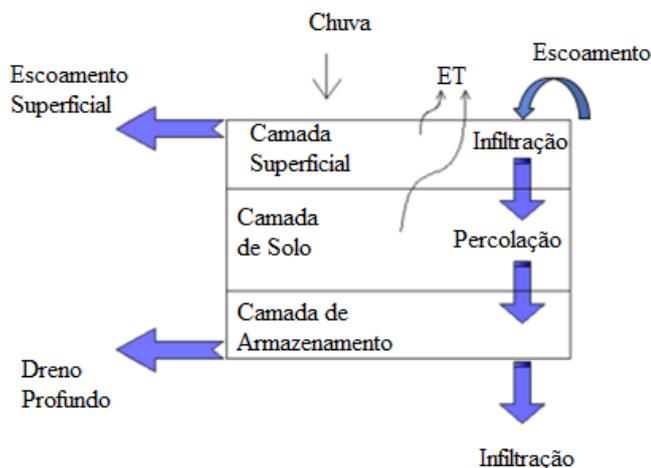
Para modelar a infiltração, além do método Curva Número, proposto por USDA, SCS (1972), há duas equações de perda de infiltração nas áreas permeáveis disponíveis: Horton (1933) e Green-Ampt (1911). Já o transporte de água em um conduto (rio, canal) está regido pelas equações de conservação de massa e da quantidade de movimento, sendo possível selecionar o nível de sofisticação que deseja para resolver estas equações (Rossman, 2010).

O modelo de qualidade da água no interior de um conduto e dentro das unidades de armazenamento considera que estes se comportam como um tanque de mistura reacional homogênea, CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*), com fluxo permanente.

A representação de bacias de retenção pode ser feita introduzindo uma unidade de armazenamento na bacia e configurando-a conforme suas propriedades físicas; a superfície de armazenamento da água empoeçada quando se produz alagamento, e a fração da evaporação potencial a partir da superfície de água da unidade de armazenamento que realmente evapora.

O SWMM também permite a introdução de controles de LID – *Low Impact Development Practices* que são representados pela combinação de camadas verticais, cujas propriedades são definidas por unidades de área. O SWMM pode modelar cinco diferentes tipos genéricos de LID: células de bioretenção, pavimento poroso, trincheira de infiltração, cisternas e valas vegetadas, que podem ser combinadas numa mesma sub-bacia.

Durante a simulação desses dispositivos, o SWMM realiza o balanço hídrico, determinando o que escoar de uma camada para a outra e o que é armazenado em uma camada. A Figura 4 exemplifica as camadas utilizadas para modelar uma bacia de filtração e o caminho percorrido pela água entre essas camadas.



**Figura 4** Representação conceitual de um controle de LID (Gomes, 2012).

A acumulação de agentes poluentes no sistema é descrita como uma massa por unidade de área das sub-bacias ou por unidade de comprimento do meio fio, sendo que a quantidade de poluente acumulada é uma função do número de dias sem precipitação antecedentes à chuva e pode ser calculada mediante uma das seguintes expressões: função potência, função exponencial, função saturação.

Na função potência, a acumulação de poluentes é proporcional ao tempo elevado a uma potência, até que se alcança um determinado valor máximo. A função exponencial de acumulação que segue um crescimento exponencial que se aproxima assintoticamente a um determinado valor máximo. A função saturação a acumulação começa de forma linear e progressivamente diminui ao longo do tempo até alcançar um determinado valor de saturação.

A remoção dos agentes poluentes do fluxo que entra em um dos nós de um sistema de drenagem é modelada atribuindo-se uma propriedade de tratamento a cada nó, que poder ser uma função matemática que inclua: concentração do poluente de qualquer mistura que entra em um ponto e a quantidade removida desse e demais poluentes.

O programa derivado do SWMM chamado PCSWMM, desenvolvido pela *Chiwater, Computational Hydraulics International* (1978), auxilia nas análises de sensibilidade e calibração da modelagem. O SWMM tem sido o principal sistema de apoio à decisão para USEPA desde o seu lançamento original em 1984, aplicado em dezenas de milhares de sistemas de esgoto e para gestão de águas pluviais e estudos em mais de 70 países. A Figura 5 ilustra algumas das aplicações mais comuns do software.

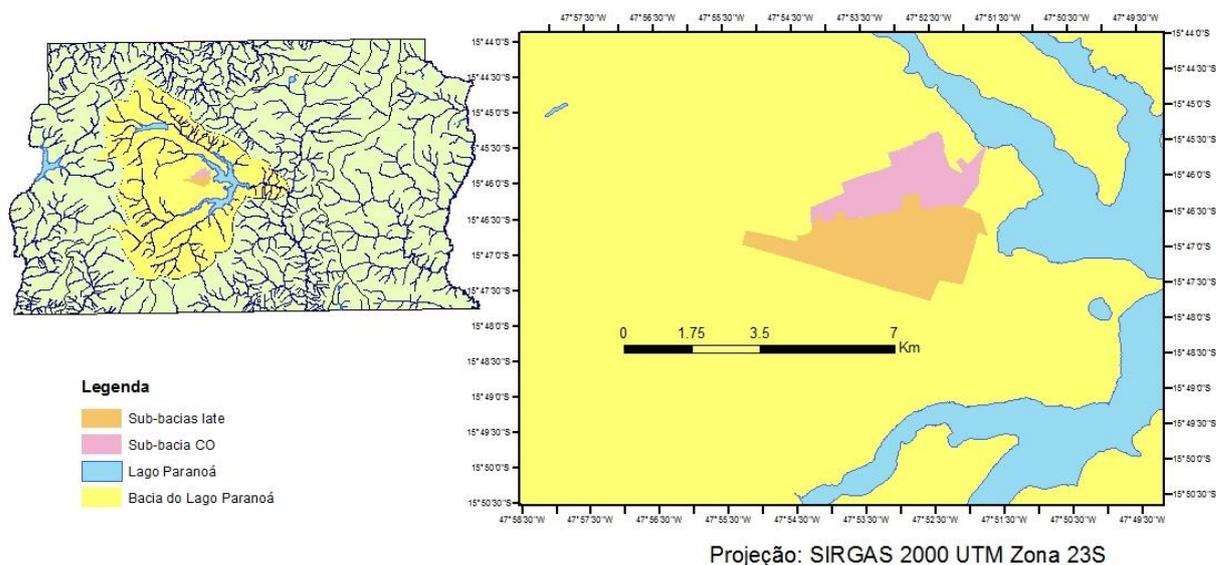


**Figura 5 Principais aplicações do SWMM**

#### 4 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

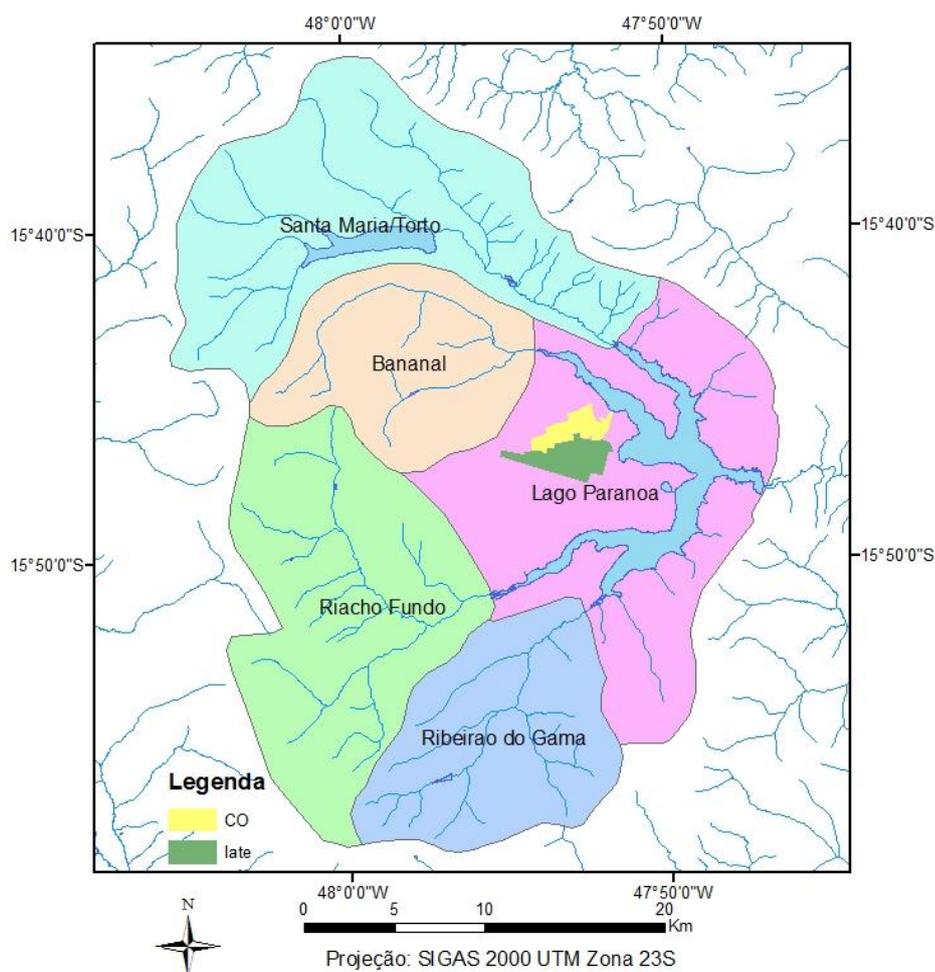
O DF foi criado dentro do bioma cerrado que conta com cerca de 10 biotas que coexistem sem se misturar ou permeando-se em faixas de transição de fitofisionomias, sendo que sua biodiversidade pode ser comparada à amazônica (Ferrante *et. al.*, 2001). É a região mais alta do Planalto Central, com nascentes de cursos de água de três grandes regiões hidrográficas brasileiras: do Paraná, São Francisco e Araguaia/Tocantins.

A sub-bacia urbana do Iate Clube está localizada em Brasília, DF, na Bacia do Lago Paranoá, que por sua vez é limitada ao norte pela Bacia do Rio Maranhão, ao leste e ao sul pela Bacia do Rio São Bartolomeu, ao sudeste pela Bacia do Rio Corumbá e ao oeste pela Bacia do Rio Descoberto. Possui uma área de drenagem de 9.04 Km<sup>2</sup> e um perímetro de 17 km (Figura 6). A Figura 6 também apresenta a Sub-bacia urbana do Centro Olímpico – CO – com 5,43Km<sup>2</sup> e perímetro de 15,3 Km que integra, juntamente com a sub-bacia do Iate Clube.



**Figura 6** Localização da Sub-bacia Urbana Iate Clube e Centro Olímpico

O Lago Paranoá pertence à bacia hidrográfica do Rio São Bartolomeu que, por sua vez, pertence à região hidrográfica do Rio Paraná. A bacia do Lago Paranoá é formada também pelas unidades hidrográficas do Lago Santa Maria/Torto, Bananal, Riacho Fundo, Ribeirão do Gama, Córrego Cabeça do Veado (Figura 7).



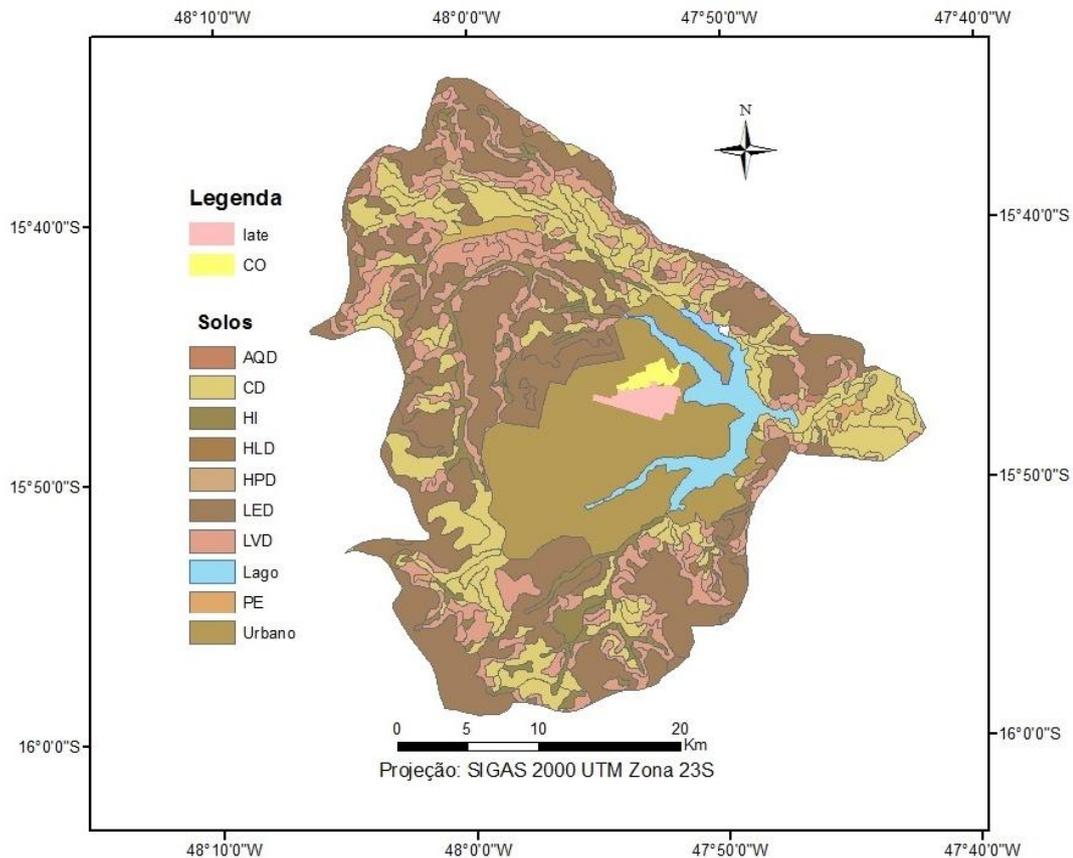
**Figura 7 Unidades Hidrográficas da Bacia do Lago Paranoá.**

O clima predominante da região é Cwa, conforme classificação de Köppen. A estação chuvosa começa em outubro e termina em abril, representando 84% do total anual, sendo o trimestre mais chuvoso é de novembro/janeiro. Em termos de totais anuais, a precipitação média interanual no Distrito Federal com variações entre 1.200mm a 1.700mm.

A temperatura média anual altera de 18 a 22 °C, sendo os meses de setembro e outubro os mais quentes e o mês de julho o mais frio. A umidade relativa do ar cai de valores superiores a 70%, no início da seca, para menos de 20%, no final do período. Coincidindo com o período mais quente, nos meses de agosto e setembro, a umidade pode chegar a 12%, secura típica de deserto.

Conforme levantamento de solos feito pela EMBRAPA em 1978, sintetizado por Reatto, (2004), pode se concluir que a região do Distrito Federal-DF apresenta três classes de solos mais importantes: Latossolo Vermelho-Escuro (38,65%), Latossolo Vermelho-Amarelo

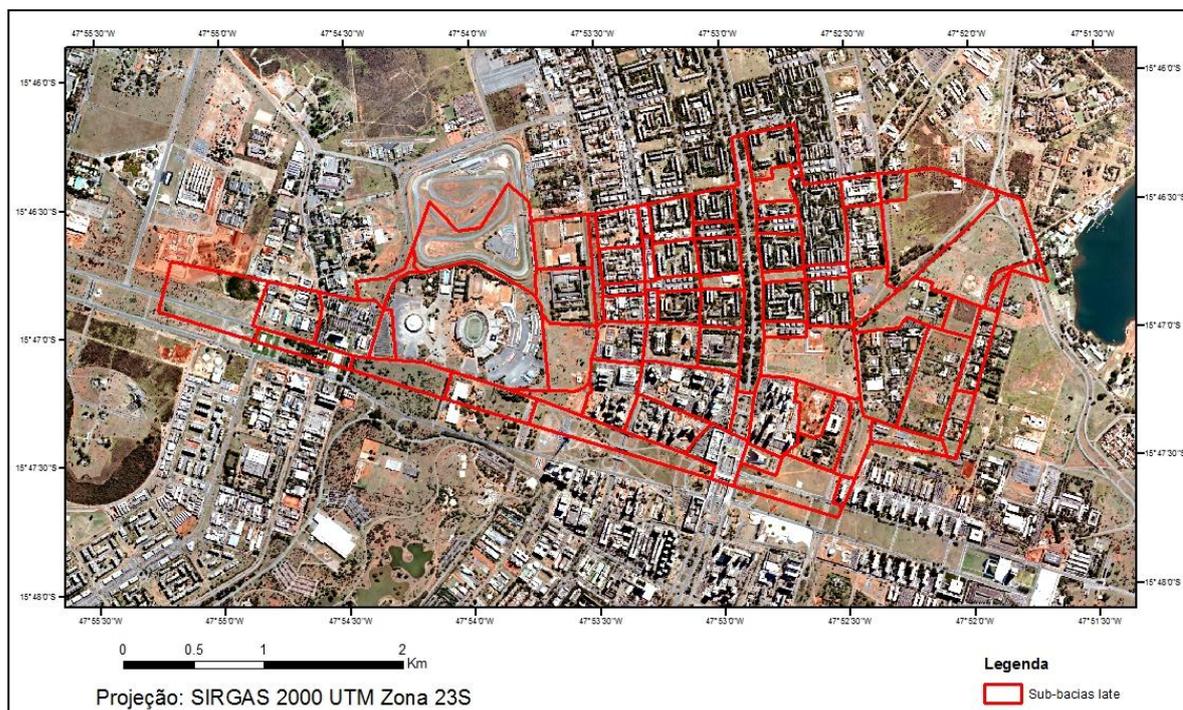
(15,83%) e Cambissolo (31,02%). A Figura 8 ilustra a pedologia da bacia do lago Paranoá, que está integralmente inserida no Distrito Federal-DF.



**Figura 8 Mapa de Solos da Bacia do Lago Paranoá - AQd – Neossolo Quartzarênico, Cd – Cambissolos, HI – Solos Hidromórficos, HLd – Plintossolo Distrófico, HPd – Espossosolo, Led – Latossolo Vermelho, LVd – Latossolo Vermelho-Amarelo, PE – Argilosos Vermelho Amarelo**

Localizada na região central da Bacia do Paranoá, a Sub-bacia do Iate clube contem em sua área além de duas superquadras residências, o Autódromo Internacional Nelson Piquet, o Estádio Nacional de Brasília Mané Garrincha, o Terminal Rodoviário de Brasília, o Setor Hoteleiro Norte, o Setor comercial Norte e o Setor de Autarquias/Bancário Norte.

A Figura 9 ilustra as características de ocupação da bacia por meio de uma Ortofoto (TERRACAP, 2013), onde é possível notar as áreas comerciais e residências com maior concentração de edifícios, a localização do estádio e autódromo mais a montante da bacia, a esquerda da figura, e a jusante, a direita da figura, uma área menos construída e com áreas de campo aberto.



**Figura 9 Características da Bacia do Iate Clube**

Desde o começo do ano de 2010 têm ocorrido inúmeras obras dentro da bacia como a reconstrução do Estádio Mané Garrincha e construção de novos edifícios no Setor Hoteleiro, situados mais a montante da bacia, impulsionados principalmente pelos eventos como Copa das Confederações de 2013 e Copa do Mundo em 2014.

A Figura 10 mostra a fase inicial da construção do Estádio Mané Garrincha (a) e do Setor Hoteleiro Norte (b) em agosto de 2011, na qual é possível observar a intensa movimentação de terra que ocorreu na área de construção. Atualmente os empreendimentos estão em fase final de construção ou já foram concluídos.



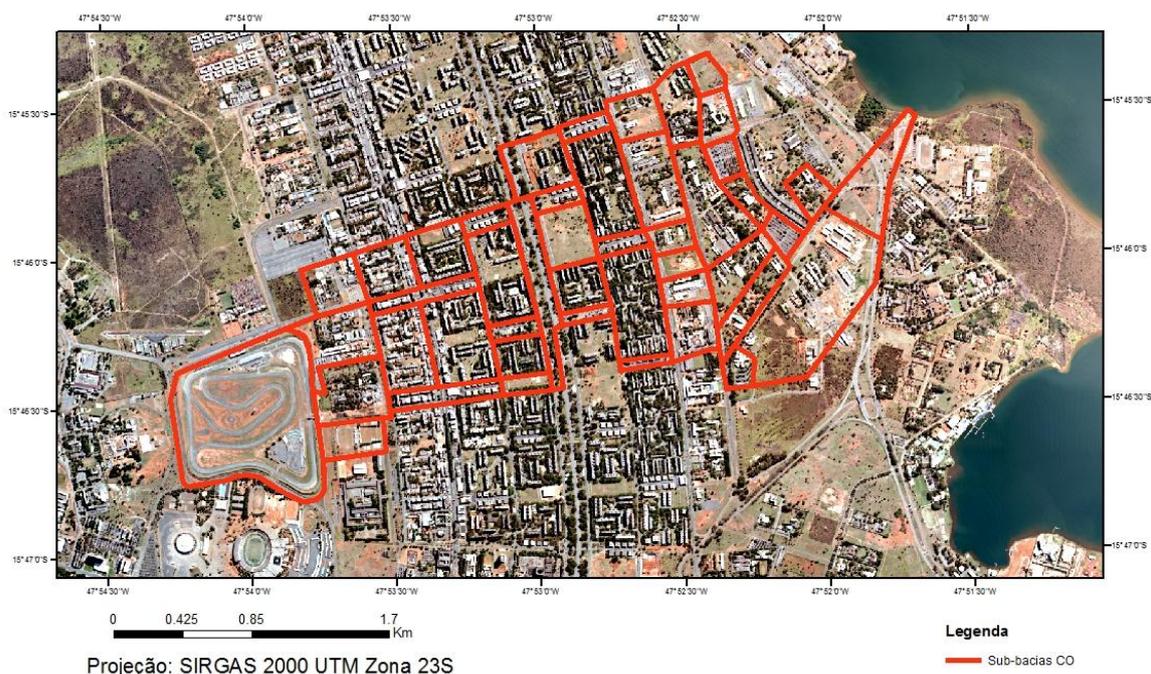
**Figura 10 Estádio Mané Garrincha (a) e Setor Hoteleiro Norte (b) – em construção, em agosto de 2011.**

O Setor de Autarquias também vem sofrendo inúmeros processos de transformação, como a construção de novos prédios governamentais. A Figura 11 ilustra uma das construções no Setor de Autarquias (a) e área onde situava a sede da CEB – Companhia Energética de Brasília (b) que foi demolida no final do ano de 2012.



**Figura 11** Construções no Setor de Autarquias Norte (a) e local da antiga sede da CEB (b), em dezembro de 2012– Fonte: Google Earth.

A Figura 12 apresenta as características da sub-bacia do CO, por meio da qual é possível identificar as diferenças de ocupação. A Bacia do CO é composta principalmente por área residencial e as entre quadras comerciais, tendo como cabeceira o Autódromo Nelson Piquet, Figura 13, e como exutório o CO da Universidade de Brasília, Figura 14, abrangendo também o setor de oficinas.



**Figura 12** Características da Bacia do Centro Olímpico

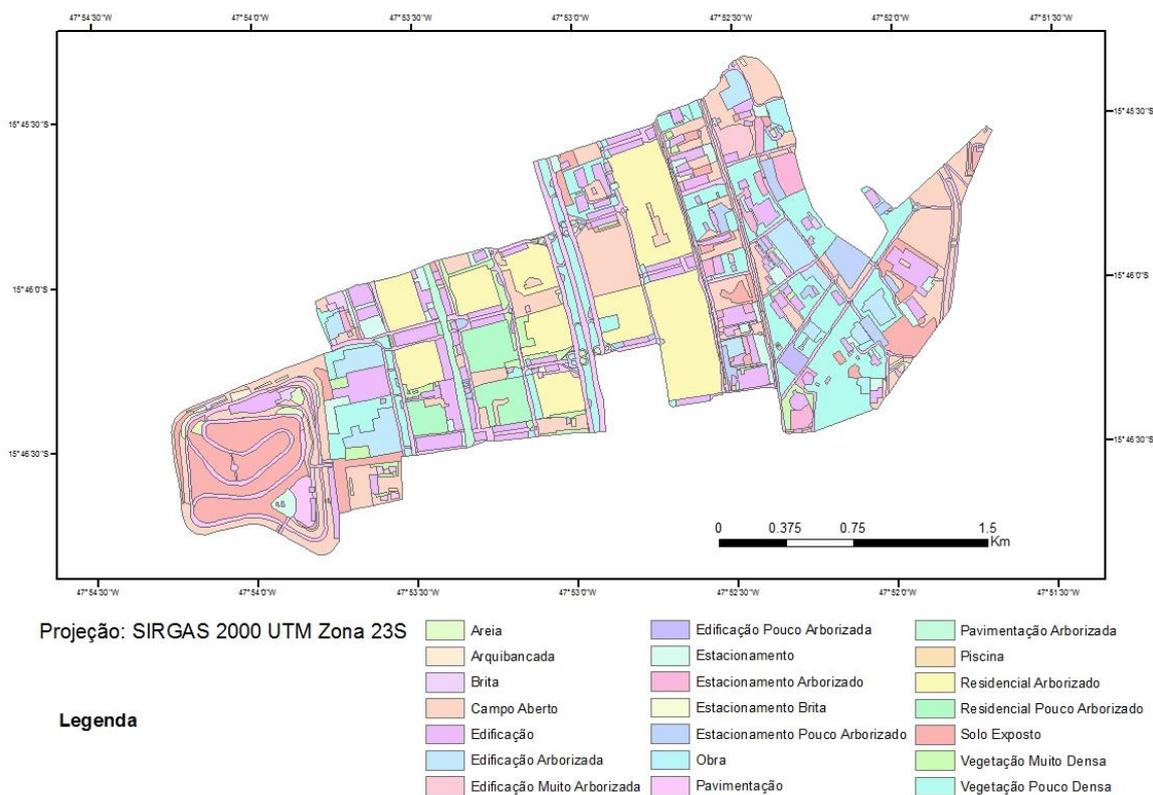


**Figura 13** Autódromo Nelson Piquet.



**Figura 14** Universidade de Brasília

O mapa de uso e ocupação do solo apresentado pela Figura 15, elaborado por Costa (2013), permite visualizar as propriedades da sub-bacia, e comparar com o uso e ocupação do solo na sub-bacia do Iate Clube, permitindo assim, entender a influência dessas características na acumulação e carreamento de poluentes até o corpo receptor.



**Figura 15** Uso do solo CO – Fonte: Costa (2013)

## 5 METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em etapas que compreenderam: (1) o monitoramento qualitativo e quantitativo da água; (2) o tratamento desses dados; (3) a caracterização da bacia e das sub-bacias para a modelagem; (4) as simulações de vazões, qualidade da água e das bacias de retenção utilizando o SWMM; (5) avaliação de local de implantação; (6) impactos qualitativos. A Tabela 1 esquematiza a metodologia adotada para a concepção do trabalho.

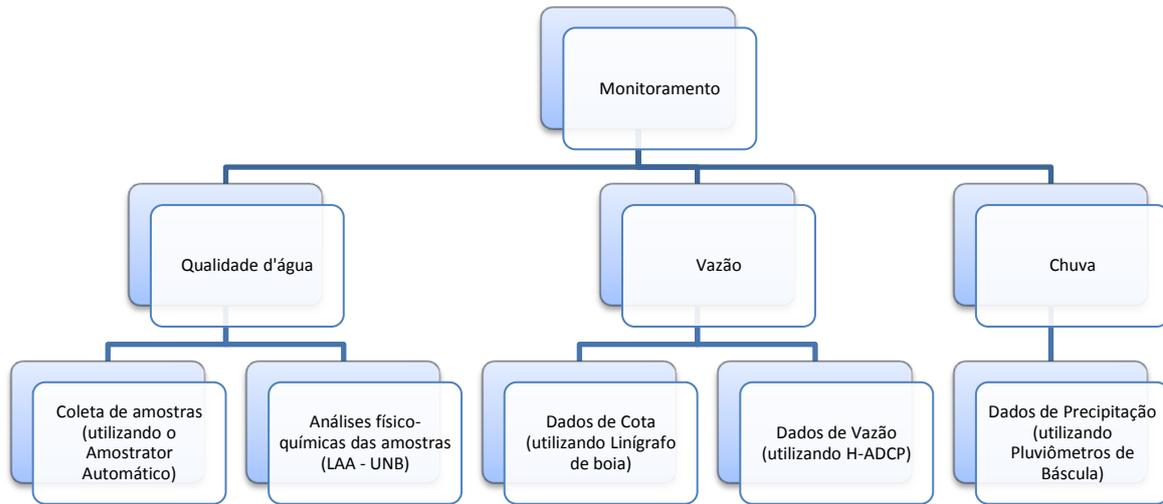
**Tabela 1** Estrutura metodológica para concepção do trabalho.

<b>METODOLOGIA</b>	<b>MONITORAMENTO</b>	<b>QUALIDADE</b>	Instalação dos Equipamentos Coleta das amostras Análise em laboratório
		<b>VAZÃO</b>	Instalação dos equipamentos Medições de cota Medições de velocidade Traçado da curva chave
		<b>PRECIPITAÇÃO</b>	Aquisição dos dados Tratamento dos dados
	<b>MODELAGEM</b>	<b>PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO</b>	Rede de Drenagem Dados Climatológicos Sub-bacias de Contribuição Características dos elementos BuildUp/WashOff dos Poluentes
		<b>VAZÃO</b>	Simulação Calibração Verificação
		<b>QUALIDADE</b>	Simulação Calibração Verificação
	<b>SIMULAÇÕES DAS BACIAS</b>	<b>DETENÇÃO ALTERNATIVAS</b>	

### 5.1 MONITORAMENTO

O monitoramento compreendeu o período de outubro de 2013 a março de 2014, sendo que anteriormente havia sido monitorado o período de outubro de 2012 a fevereiro de 2013. Nessa etapa do trabalho realizou-se a instalação de equipamentos, coleta e tratamento de dados de precipitação, vazão e qualidade da água, tendo em vista que tais informações são necessárias para a análise e entendimento do sistema de drenagem urbana uma vez que há, em geral, certa carência ou mesmo inexistência de registros de dados, o que dificulta e por vezes até impossibilita os estudos hidrológicos com qualidade e confiança.

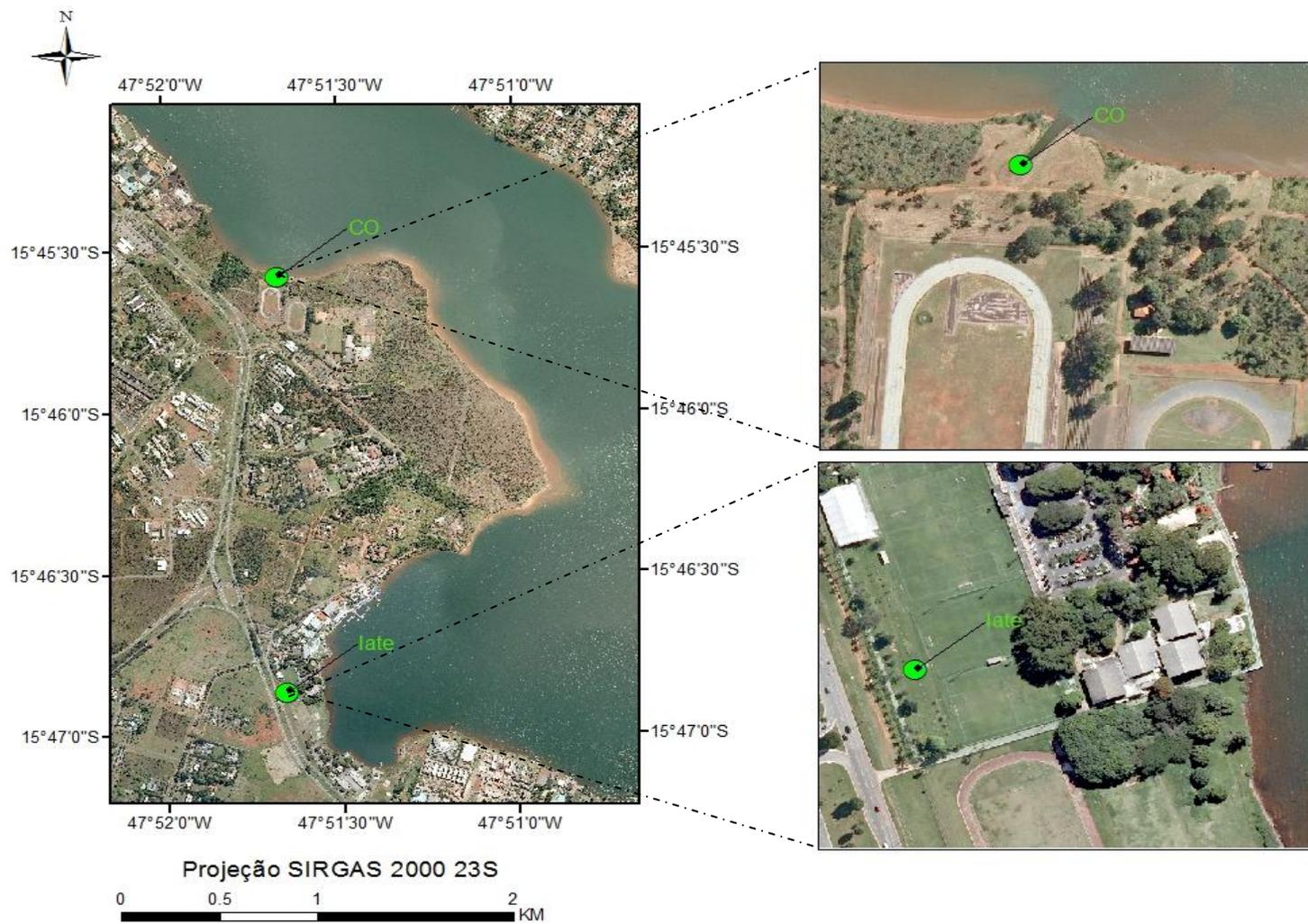
A Figura 16 ilustra o arranjo utilizado para concepção do monitoramento. Foram medidas as vazões, as precipitações e as cargas referentes à poluição difusa que chegam ao Lago Paranoá na galeria de drenagem urbana do Iate Clube. Similarmente, o monitoramento na galeria da bacia do CO foi realizado com o intuito de analisar como a relação de uso e ocupação do solo interfere nas cargas de poluentes e a variabilidade espacial da precipitação das duas bacias.



**Figura 16** Esquema utilizado para monitoramento nas bacias do Iate Clube e CO.

A Figura 17 apresenta o mapa de localização dos pontos de medição de vazão e coleta de amostras para análise de qualidade da água nas bacias do Iate e do CO. Na bacia do CO o ponto de monitoramento é no exutório da bacia, o que permite fácil acesso a galeria, enquanto que na bacia do Iate o ponto fica a 200 metros do exutório.

A localização dos pontos de monitoramento e acesso na bacia do Iate é apresentada na Figura 17, onde é possível identificar onde foram instalados os equipamentos (ponto de monitoramento) o acesso à galeria (ponto de acesso) e seu exutório. Na seção fluviométrica na galeria do Iate Clube, foram instalados o coletor automático de amostras de água, o linígrafo de boia e o *Horizontal Acoustic Doppler Current Profiler – H-ADCP*



**Figura 17** Localização dos pontos de monitoramento das bacias do Iate e CO.

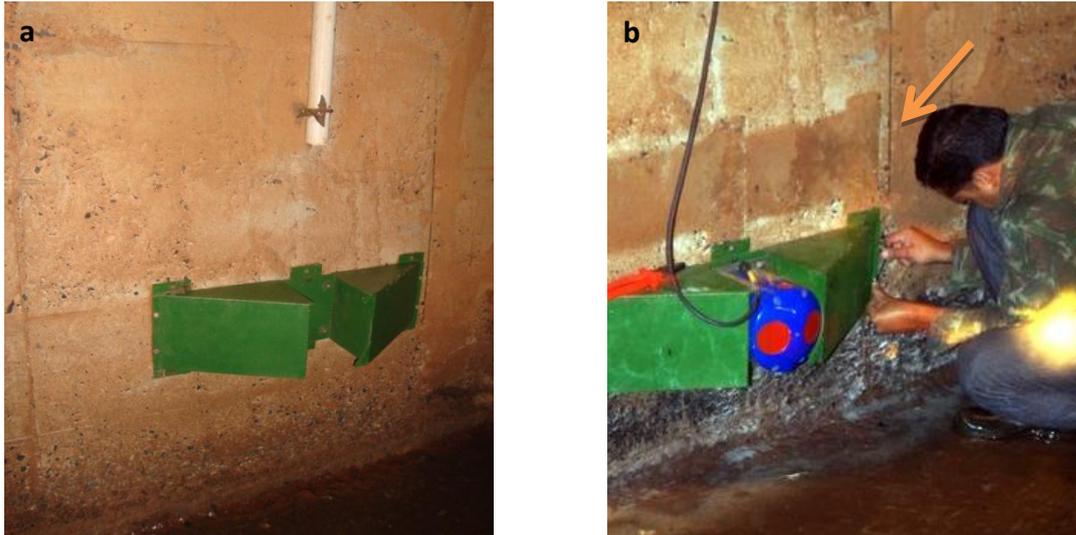
Toda essa parte da galeria, que chamamos de macrogaleria exutória, é composta por vários degraus até chegar ao lago, estruturadas para reduzir a velocidade do escoamento, sendo que seu desnível desde o ponto de início da macrogaleria até o exutório é de 8 metros. A seção de monitoramento fica centralizada entre dois desses degraus. A macrogaleria é quadrangular, com dimensões de 3x3 metros e feita de concreto armado.

#### 5.1.1 Determinação da vazão

Para a determinação da vazão foram feitas medições do nível d'água utilizando o linígrafo do tipo Boia OTT Thalimedes, e de velocidade do escoamento com o H-ADCP, nos pontos de monitoramento já descritos, com intervalos de tempo de registro do dado de 5 minutos a partir do início do evento chuvoso. Esse intervalo de tempo foi fixado por representar bem a bacia ao longo do tempo, tendo em vista que possui um tempo de concentração de 70 minutos, além de facilitar a comparação dos dados com os monitorados no ano anterior, em que foi adotado o mesmo intervalo.

O H-ADCP, que mede a velocidade da correnteza da água ao longo da seção transversal do canal por meio de efeito Doppler. Esse equipamento foi adotado por ser mais eficiente e preciso na medição de vazão, no que se refere à quantidade e qualidade nas informações por ele oferecidas em tempo real e, em função da acessibilidade da galeria durante a passagem das ondas de cheia.

A Instalação do H-ADCP foi feita dentro da galeria também a 200 metros da saída para o lago Paranoá para evitar a influência do remanso na galeria. A base do equipamento foi instalada a uma altura de 0,30m do leito da galeria com a finalidade de evitar as interferências na velocidade causadas pelo atrito, sem perder os dados referentes às vazões mais baixas. Inicialmente esse *offset* do equipamento era de 0,5m, porém não cobria os eventos com menores vazões, conforme ilustrado na Figura 18.



**Figura 18** Instalação do H-ADCP - a) posição inicial do equipamento b) posição final do equipamento

Foi realizada a medição de velocidade utilizando o H-ADCP em tempo real com *pings* a cada 10 segundos na seção transversal do trecho hidrométrico. Essa seção foi dividida em 30 células de medição, sendo que as células próximas às paredes da galeria foram desconsideradas para medição da velocidade média do canal, e considerando o *offset* do arranjo do equipamento. A posição do equipamento é ilustrada na Figura 19, com a indicação da direção do fluxo.

Para a elaboração da curva-chave utilizou-se os dados de cota obtidos do linígrafo e as velocidades do H-ADCP, de eventos comuns, em se observou o mesmo espaço temporal. Esses dados foram plotados a fim de fazer uma regressão e estimar a curva correspondente ao evento, na galeria de águas pluviais do Iate Clube.



**Figura 19** Posição do H-ADCP dentro da galeria do Iate.

Devido à curva-chave para vazão do CO ter sido elaborada com dados provenientes das medições com H-ADCP, não se fez necessário realizar novas medições de velocidade. Apenas manteve-se o monitoramento de cotas com o linígrafo do tipo boia OTT Thalimedes instalado próximo ao exutório da galeria do CO, uma vez que não há remanso na galeria, com seção transversal de 2,5 x 2,5 metros de concreto.

Com a determinação da curva chave da galeria de drenagem e os dados de cota medidos com o linígrafo, obtêm-se a série de dados de vazão para a galeria, utilizando-se da relação entre cota e vazão determinada pela equação da curva chave.

### 5.1.2 Levantamento dos dados de precipitação

O monitoramento de precipitação foi feito por cinco pluviômetros instalados nas bacias. Os pluviômetros estão localizados: na Estação de Tratamento de Água ETA – Brasília (CAESB); no Departamento Nacional de Transito (DNIT); no Iate Clube de Brasília (Iate), na Universidade de Brasília (SG12) e nas Quadras 303 e 106 da Asa Norte (303N e 106N), ilustrados na Figura 20.



### Figura 20 Localização dos pluviômetros na bacia do Iate

Os pluviômetros HOBO são do tipo basculante, desenvolvidos pela *Onset*, possuem *data logger* interno para armazenamento de dados de chuva e temperatura. A Caesb vem utilizando pluviômetro de báscula da *Global Water*. Esses equipamentos foram configurados para registrar os dados a cada 5 minutos, quando ele contabiliza a quantidade de basculhadas de 0,2mm, ou seja, o pluviômetro funciona com 2 básculas que, uma a uma, vão recebendo 0,2mm de água e alternando o movimento de descida do dispositivo.

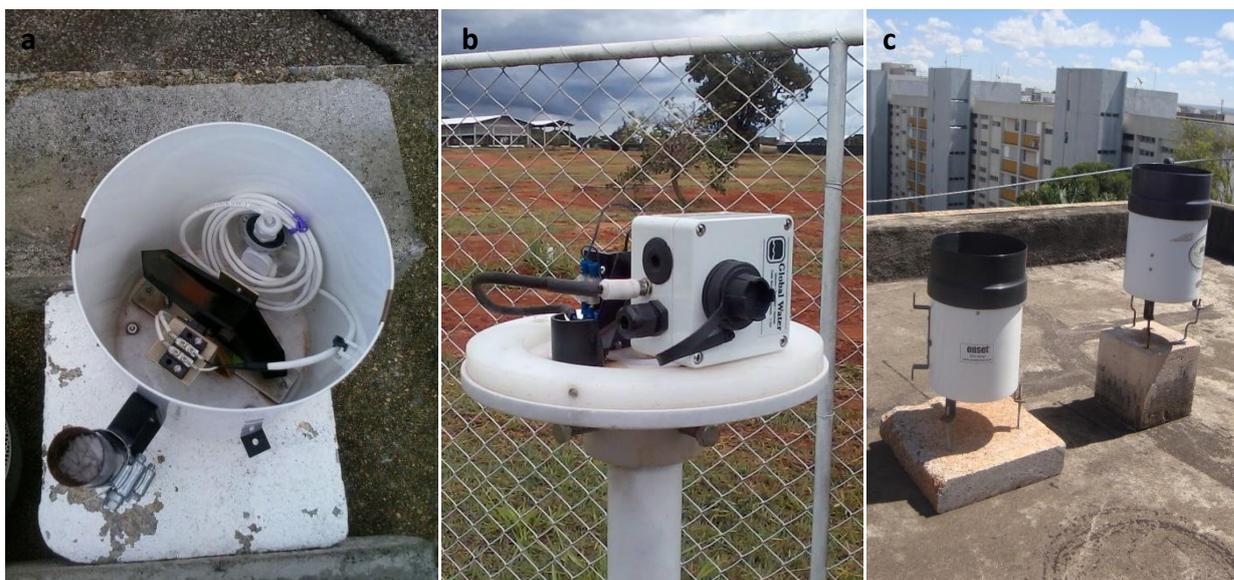


Figura 21 Pluviômetros a) utilizado pela UnB b) utilizado pela CAESB c) Instalado.

As áreas de influência de cada pluviômetro foram determinadas pelo método dos polígonos de Thiessen, podendo assim os dados de precipitação obtidos para cada pluviômetro serem inseridos nas sub-bacias de contribuição referente a sua localização.

#### 5.1.3 Qualidade d'água

Para coleta automática de amostras de água foi utilizado o Coletor Automático-ISCO, ilustrado na Figura 22, instalado também no ponto de monitoramento próximo ao exutório da bacia do Iate Clube. Fizeram-se coletas de 900 ml de amostra em intervalos de 10 minutos. As amostras recolhidas foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Águas – LAA – do PTARH. Os parâmetros analisados estão apresentados na Tabela 2, seguido de cada procedimento de análise descrito pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (ALPHA, 2008).

**Tabela 2 Variáveis e métodos de análise da qualidade da água utilizados no LAA.**

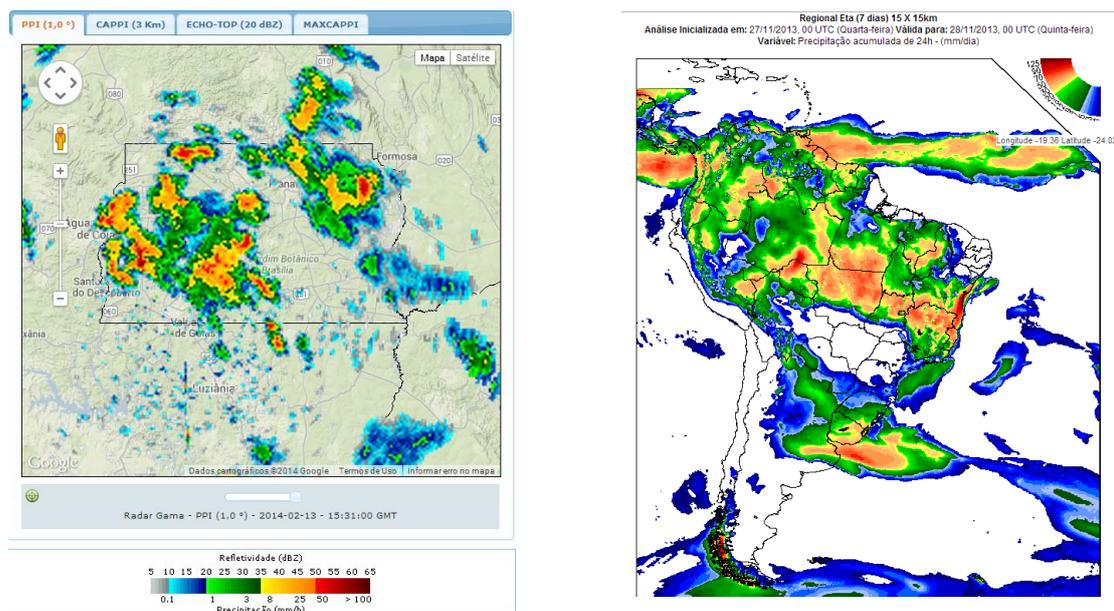
Variável	Metodologia	Parâmetro	Metodologia
<b>Condutividade</b>	Condutivímetro	<b>Sólidos Totais</b>	Método Gravimétrico
<b>Turbidez</b>	Turbidímetro	<b>Sólidos Dissolvidos</b>	Método Gravimétrico
<b>SDT</b>	Condutivímetro	<b>Sólidos Suspensos</b>	Método Gravimétrico
<b>Nitrito</b>	Espectrofotômetro	<b>pH</b>	pHmetro
<b>Nitrato</b>	Espectrofotômetro	<b>Cloreto</b>	Cromatográfico
<b>Amônia</b>	Espectrofotômetro	<b>DQO</b>	Espectrofotômetro
<b>Fósforo Reativo</b>	Espectrofotômetro	<b>Fósforo Total</b>	Espectrofotômetro



**Figura 22 Coletor automático de amostras de água - ISCO**

Quanto à rotina de coleta, fez-se o acompanhamento das previsões meteorológicas utilizando a hidrometeorologia com radar do CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) apresentado na Figura 23. Esse acompanhamento foi feito inicialmente para preparação do trabalho de campo e manutenção dos equipamentos de amostragem automática. Após cada evento de chuva fez-se a coleta das amostras nas galerias.

Na rotina de laboratório, as análises de nitrito, DQO, condutividade, turbidez, pH, sólidos e cloreto foram feitas logo após a coleta. Para as demais utilizaram-se alíquotas de 200ml de amostra para preservação e posterior exame das variáveis.



**Figura 23** Imagens das ferramentas utilizadas para o acompanhamento da previsão do Tempo

A análise dos dados de qualidade da água consistiu na transformação desse conjunto de elementos obtidos no monitoramento em informação, com o objetivo de poder verificá-los melhor, possibilitando uma análise racional.

Fez-se uma análise descritiva dos dados obtidos evidenciando os valores médios, mínimos e máximos por evento de cada variável, além de identificar os *outliers*, permitindo comparar as variáveis entre as duas sub-bacias de análise, identificar relações e diferenças.

A partir desses dados fez-se a relação com a vazão escoada e obteve-se assim a carga de poluente transporta e lançada no Lago Paranoá pela galeria do Iate Clube.

## 5.2 MODELAGEM NUMÉRICA DA BACIA DO IATE

A modelagem numérica consiste em uma representação matemática da distribuição espacial de determinadas características vinculada a uma superfície real, ou seja, nessa etapa procurou-se identificar as características da bacia do Iate para representação no modelo, como a rede de drenagem, dados climatológicos, características das sub-bacias referentes e formas de acúmulo e lavagem de poluentes.

### 5.2.1 Rede de drenagem pluvial

A configuração existente da rede de drenagem foi levantada do “Projeto Básico da Galeria de Reforço da Faixa 1 e 2 Norte” realizado pela Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (NOVACAP, 2008), que fez o levantamento cadastral da macrodrenagem. O Relatório desse projeto também disponibiliza informações quanto à localização dos poços de visita que fazem conexão entre as redes de drenagem coletora e as principais, formando dados como: cotas, comprimento de cada trecho, características geométricas e tipo de material da galeria.

### 5.2.2 Rede de Microdrenagem

O levantamento da rede de microdrenagem foi realizado utilizando uma Ortofoto produto de Levantamento Aerofotogramétrico Digital do Território do Distrito Federal realizado pela Companhia Imobiliária de Brasília- TERRACAP em abril de 2013, e impressa para marcação dos pontos e inserção no software de geoprocessamento ArcGis 10.1. Essa estimativa da rede de microdrenagem foi levantada em algumas das sub-bacias com intuito de avaliar sua influência na modelagem da bacia em estudo.

### 5.2.3 Dados climatológicos

A simulação de vazão e qualidade da água foi feita utilizando o SWMM. Como dados de entrada foram usados os de precipitação dos pluviômetros instalados na bacia e informações climatológicas, como temperatura e velocidade do vento.

Os elementos de hidrometeorologia necessários para desempenho de modelo hidrológico foram obtidos pela estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, situada na latitude:  $-15.7894^{\circ}$  e longitude:  $-47.9256^{\circ}$ , a 1,9Km da sub-bacia do Iate, por meio do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP onde estão acessíveis os dados desde 1961 de estações que mudam diversas variáveis como precipitação ocorrida nas últimas 24 horas; temperatura do bulbo seco; temperatura do bulbo úmido; temperatura máxima; temperatura mínima; umidade relativa do ar; pressão atmosférica ao nível da estação; insolação; direção e velocidade do vento.

Esse banco de dados forneceu informações como velocidade do vento e evapotranspiração mensal e uma série de dados horários de temperatura, conforme Figura 24, para inserção no componente climatológico do modelo, em que foi preciso informar também a temperatura do período simulado.

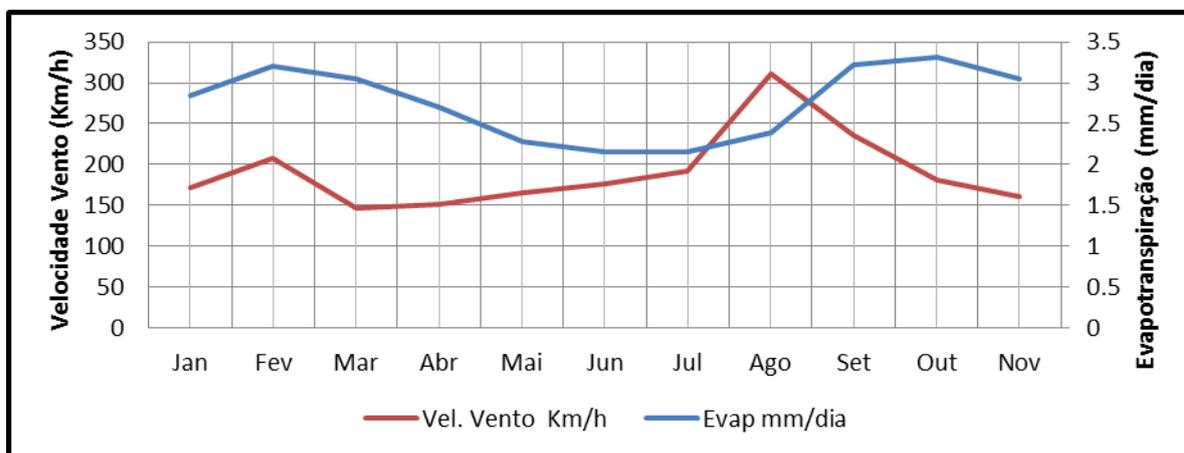


Figura 24 Velocidade do Vento e Evapotranspiração

#### 5.2.4 Determinação das Sub-Bacias de Contribuição

A Sub-bacia Urbana do Iate Clube foi dividida em 76 áreas denominadas bacias de contribuição com o intuito de agrupar áreas de características e comportamentos similares referentes à sua declividade e uso e ocupação do solo.

A divisão das sub-bacias tem como base: 1) na fotointerpretação a partir de uma ortofotografia, TERRACAP (2013); 2) na declividade da área, que foi calculada a partir do Mapa Topográfico do DF disponibilizado pela Companhia Imobiliária de Brasília – TERRACAP do ano de 2009 utilizando o programa de geoprocessamento ArcGIS 10.1.

#### 5.2.5 Configuração das características dos elementos de drenagem

Os dados de entrada para parametrização e aplicação do modelo, que compõem as propriedades físicas das bacias de contribuição, estão apresentados a seguir, sendo que alguns desses parâmetros foram calculados com auxílio da ferramenta de geoprocessamento e outros podem ser encontrados na literatura, como profundidade de armazenamento em depressões, coeficiente de Manning para escoamento a superfícies livres. Em suma os elementos são:

- Largura média característica do escoamento: obtido com o auxílio da ferramenta de geoprocessamento ArcGis 10.1 (*Trial Version*), conforme delimitação das bacias de contribuição previamente determinadas;
- Declividade média da bacia de contribuição: estimado com o auxílio da ferramenta de geoprocessamento, utilizando mapa topográfico disponibilizado pela Terracap (2009);
- Porcentagem de área superficial impermeável: estimado com o auxílio da ferramenta de geoprocessamento, conforme delimitação das bacias de contribuição previamente determinadas;
- Coeficiente rugosidade de Manning para áreas impermeáveis e permeáveis, conforme literatura sugerida pelo desenvolvedor do modelo;
- Profundidade do armazenamento em depressão, conforme literatura sugerida pelo desenvolvedor do modelo;
- Porcentagem de áreas impermeáveis sem armazenamento em depressões, estimado com o auxílio da ferramenta de geoprocessamento, conforme delimitação das bacias de contribuição previamente determinadas;
- Parâmetros de Infiltração CN determinado conforme as características do solo descritas em *SCS Urban Hydrology for Small Watersheds* de 1986.

Já para os condutos os parâmetros representando os dados são: seus nós de entrada e saída, propriedades geométricas da seção, profundidade máxima da seção, comprimento, altura ou cota do conduto, coeficiente de rugosidade de Manning. No que se refere às conexões é importante configurar sobre sua profundidade máxima e cota.

Quanto aos poluentes, devem ser verificadas as unidades de concentração do poluente na precipitação, na água subterrânea, na infiltração e afluência, nas águas residuárias e seu coeficiente de decaimento. Os resultados obtidos serão comparados com os monitorados a fim de avaliar a qualidade da resposta do modelo.

O Apêndice A apresenta os elementos que compõem a configuração dos condutos e nós adotados para a modelagem.

### 5.2.6 *BuildUp* – acúmulo e *WashOff*– lavagem de poluentes nas sub-bacias de contribuição.

O SWMM permite configurar variados tipos de uso do solo definindo a sua categoria e as características acúmulo e de lavagem de poluentes (Rossman, 2010). Os poluentes associados ao escoamento são gerados pelo uso do solo específico atribuído às sub-bacias de contribuição. Há três diferentes funções que podem ser usadas para descrever a acumulação – *BuildUp* –cujos comportamentos são identificados na Figura 25.

Função Potência: acúmulo de poluentes (B) acumula proporcional ao tempo (t) elevado a alguma potência, até um limite máximo seja alcançado Figura 26.

(3)

- Em que: B = acúmulo, massa (contagem) / área (comprimento)
- $C_1$  = acúmulo máximo possível, massa (contagem) / área (comprimento)
- $C_2$  = taxa de acúmulo
- $C_3$  = expoente de tempo

Função Exponencial: Acúmulo segue uma curva de crescimento exponencial que se aproxima de um limite máximo assintoticamente, Figura 27.

(4)

- Em que: B = acúmulo, massa (contagem) / área (comprimento)
- $C_1$  = acúmulo máximo possível, massa (contagem) / área (comprimento)
- $C_2$  = taxa de acumulação constante, 1/dia

Funções Saturação: Acumulação começa a uma taxa linear, que procede a declinar constantemente ao longo do tempo, até um valor de saturação é atingida Figura 28.

(5)

\_\_\_\_\_

- Em que: B = acúmulo, massa (contagem) / área (comprimento)
- $C_1$  = acúmulo máximo possível, massa (contagem) / área (comprimento)
- $C_2$  = taxa de acumulação constante, 1/dia

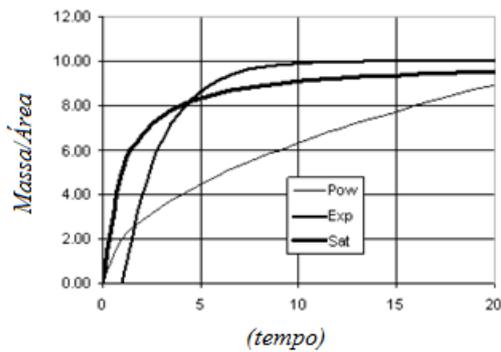


Figura 25 Tipos de Função de Acúmulo

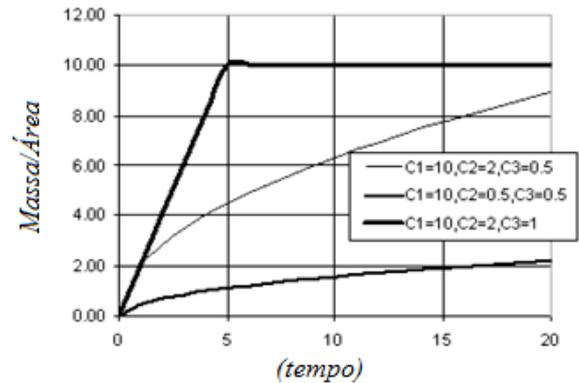


Figura 26 Função Potência (Acúmulo)

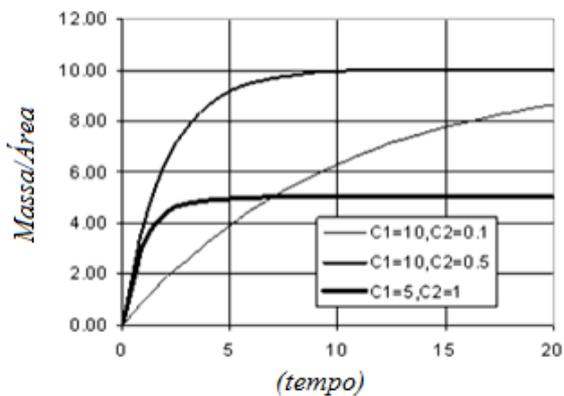


Figura 27 Função Exponencial (Acúmulo)

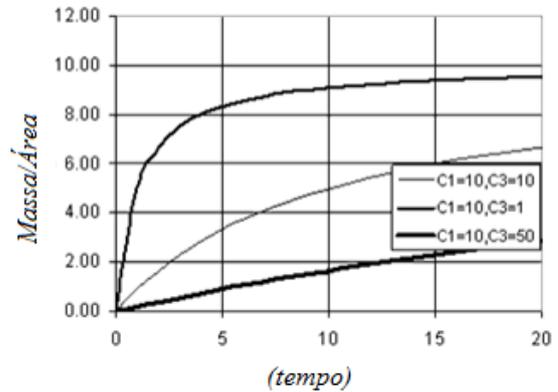


Figura 28 Função Saturação (Acúmulo)

A Lavagem – *WashOff* – do poluente refere-se à quantidade de poluente lavado de uma bacia durante um período de tempo molhado, obtida por uma das três funções de lavagem abaixo descritos:

Função Exponencial: a carga de lavagem ( $W$ ) em unidades de massa por hora é proporcional ao produto de escoamento elevado a um determinado expoente e a quantidade de incrustações restante Figura 29.

(6)

Em que:  $C_1$  = coeficiente de lavagem (1/L)

$C_2$  = expoente de lavagem (adimensional)

$q$  = taxa de escoamento superficial por unidade de área (L/T)

$B$  = poluente acumulado em massa por unidade de área (M)

*Rating Curve* - RC: a taxa de lavagem (W) em massa por segundo é proporcional à velocidade de escoamento elevada para alguma potência Figura 30.

(7)

Em que:  $C_1$  = coeficiente lavagem ( $M/L^3$ )  
 $C_2$  = expoente de lavagem (adimensional)  
 $Q$  = vazão ( $L^3/T$ )

Evento Concentração Média (*Event Mean Concentration* - EMC): Este é um caso especial de RC onde o expoente ( $C_2$ ) é de 1,0 e o coeficiente de  $C_1$  ( $M/L^3$ ) representa a concentração de todo e qualquer escoamento em massa por litro.

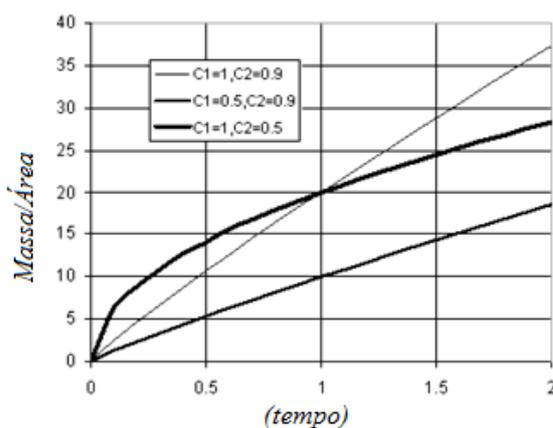


Figura 29 Função Exponencial (Lavagem)

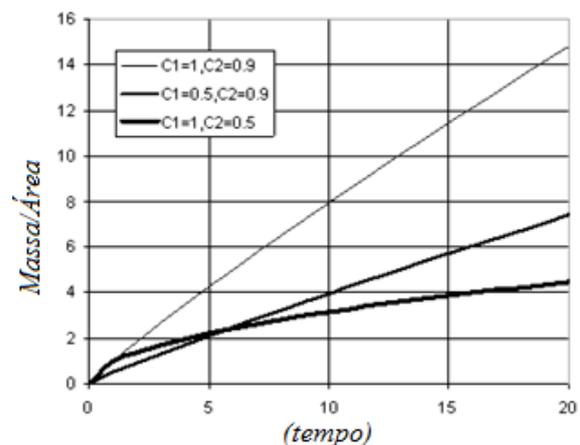


Figura 30 Função RC (Lavagem)

A acumulação de poluentes na superfície das sub-bacias é em função da quantidade de dias antecedentes sem chuva, sendo que a acumulação máxima depende do clima e fatores específicos de cada região (Rossain, 2010). Uma vez que não existem estudos específicos quanto à acumulação de poluentes na área da bacia de estudo, fez-se uma análise entre as funções dadas pelo modelo para identificar aquela que mais se ajustava a cada variável de qualidade analisada, observando os dados monitorados.

Quanto às equações de lavagem utilizadas, fez-se uma separação quanto ao uso e ocupação do solo, em que foram definidos percentuais de lixiviação de cada poluente, conforme a característica de permeabilidade tipo de utilização cada área.

A função de acumulação adotada para os poluentes analisados foi a Função Potencial. A função de lavagem para as variáveis de nutrientes – nitrito, nitrato, amônia e fósforo – foi a Função Exponencial, e para sedimentos, turbidez e condutividade, a Função RC, sendo que os parâmetros necessários para o ajuste das funções foram obtidos ao se analisar o comportamento dos dados observados.

### 5.2.7 Parâmetros das Bacias de Detenção

A bacia de detenção consiste basicamente em um tanque com espelho d'água permanente ou seca, por haver infiltração e evaporação, construída com o objetivo de reduzir o volume do escoamento, enquanto a bacia de detenção, além dessa característica, dispõe de estruturas hidráulicas de esgotamento projetadas para armazenar temporariamente o volume das enxurradas e liberá-lo lentamente, a fim de reduzir a descarga de pico à jusante, possibilitando também a melhoria da qualidade da água.

Considerando essas características optou-se por trabalhar com a bacia de detenção, tendo em vista que o lago Paranoá amortiza a onda de cheia recebida pela drenagem, porém sua capacidade de depuração dos poluentes pode não ser efetiva levando a cenários como de eutrofização e de assoreamento, colocando em risco os usos múltiplos do lago.

Outro fator a ser considerado é que no Brasil, apesar de não ter uma norma com critérios para implantação de tais projetos no que tange ao tempo de esvaziamento do reservatório e, devido ao clima tropical em que se encontra a área de estudo, que possibilita a proliferação de vetores como o mosquito da dengue, *Aedes aegypti*, sugere-se que seja usado o tempo de detenção de 24h, considerando que 90% dos sólidos em suspensão foram removidos nesse período, conforme Grizzard *et. al.* (1986) apud Wanielista e Yousef (1993).

Para simulação da bacia, considerou-se o projeto de implantação da bacia de qualidade proposto pela NOVACAP como ponto de partida para as análises, sendo a bacia sugerida pelo projeto dimensionada para um volume de 84.566m<sup>3</sup>. Considera-se na concepção da bacia a relação entre o comprimento e a largura do reservatório de detenção aconselhada de 3:1, podendo chegar até 4:1 e uma declividade de 3H:1V.

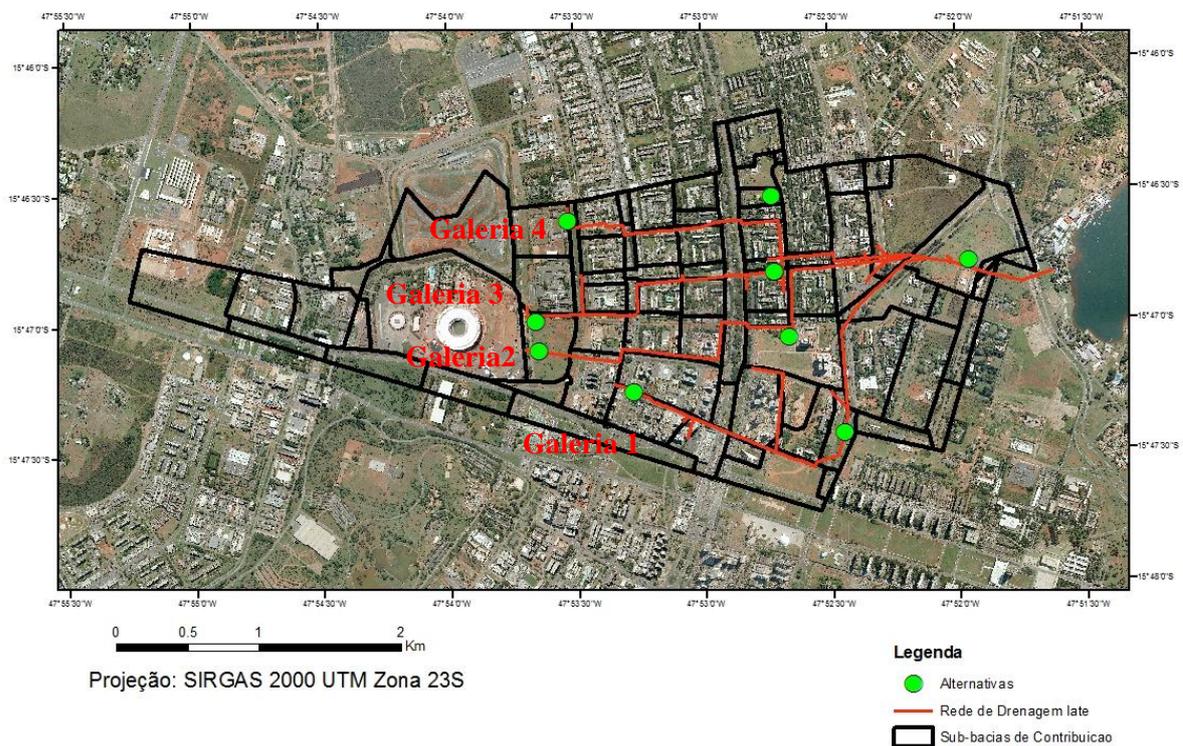
A bacia está conectada a macrogaleria por um conduto circular com 1,20m de diâmetro e 0,5% de declividade e dela sai um único conduto que capta as águas provenientes do orifício (descarregador de fundo) e do vertedor e as propaga de volta para a macrogaleria.

#### 5.2.8 Alternativas de modelagem das bacias de detenção.

Realizou-se então a simulação de 13 alternativas, Tabela 3, em que se alteraram a disposição das bacias e a quantidade de bacias implementadas, apresentadas pela Figura 31. Sendo que mesmo com o aumento do número de bacias manteve-se o volume total de 84.566m<sup>3</sup> constante, para não influenciar na análise quantitativa do escoamento no exutório.

**Tabela 3 Disposição das bacias de detenção**

	<b>Localização</b>	<b>Quantidade</b>
<b>Alternativa 1</b>	Montante galeria 1	1
<b>Alternativa 2</b>	Jusante galeria 1	1
<b>Alternativa 3</b>	Montante galeria 2	1
<b>Alternativa 4</b>	Jusante galeria 2	1
<b>Alternativa 5</b>	Montante galeria 3	1
<b>Alternativa 6</b>	Jusante galeria 3	1
<b>Alternativa 7</b>	Montante galeria 4	1
<b>Alternativa 8</b>	Jusante galeria 4	1
<b>Alternativa 9</b>	Jusante galeria 1 e 2	2
<b>Alternativa 10</b>	Jusante galeria 2 e 3	2
<b>Alternativa 11</b>	Jusante galeria 3 e 4	2
<b>Alternativa 12</b>	Jusante galeria 1, 2 e 3	3
<b>Alternativa 13</b>	Macrogaleria	1



**Figura 31** Localização das alternativas das bacias

### 5.3 SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA

Para a simulação do modelo chuva-vazão proposto, adotou-se o modelo de infiltração curva número, SCS de 1954, que caracteriza o solo conforme sua capacidade de infiltração determinando o coeficiente de escoamento superficial para cada bacia. A propagação do escoamento de onda utilizada foi a dinâmica, que considera escoamentos não uniformes e não permanentes. Os eventos simulados foram monitorados no período de outubro de 2013 a fevereiro de 2014.

Para que haja uma boa representatividade da realidade com o modelo proposto na simulação é importante que se façam alguns ajustes no modelo a partir da calibração e verificação deste. Para a realização deste trabalho escolheram-se dois eventos para calibração, considerando a magnitude do evento, quando na calibração para vazão, sendo uma de maior magnitude e outra de menor. Essa magnitude foi avaliada de acordo com intensidade da chuva e vazão na galeria de drenagem. Foi realizada uma calibração única para qualidade verificada nos demais eventos.

Anterior a esse processo de calibração e verificação fez-se uma análise de sensibilidade utilizando o programa PCSWMM. A análise de sensibilidade é de fundamental importância no processo de simulação para entendimento do grau de suscetibilidade de cada parâmetro à mudança de seus valores para se aproximar ao comportamento real do objeto de estudo.

A partir dessa análise foi possível fazer a calibração do modelo para melhoria de seu desempenho, reduzindo as incertezas dos dados de entrada do modelo e verificando sua potencialidade, de forma mais proveitosa evitando análises desnecessárias nessa etapa.

### 5.3.1 Calibração

Após simulação inicial, foi feita a análise de sensibilidade, considerando para verificação da eficácia do modelo o Coeficiente de Correlação -  $R^2$  e Nash e Sutcliffe – NSE. Os parâmetros considerados para análise da vazão, indicado para análise de sensibilidade, estão descritos na Tabela 4. A mesma análise foi feita para os parâmetros de qualidade, como: o percentual referente a cada uso e ocupação da bacia, os coeficientes de acúmulo e de lavagem considerados.

Os dados iniciais utilizados na modelagem numérica que foram submetidos à análise de sensibilidade e calibração para os parâmetros N Imperv, N Perv, DStoreImperv, DStorePerv foram os valores médios indicados no item 5.2.5 que descreve as configurações dos elementos das bacias de contribuição, Tabela 5. Inperv, Slope e *Width* foram mensurados para cada uma das 76 sub-bacias de contribuição. Para Zero Imperv e PercentRouted foram adotados valores fixos durante a modelagem, e ajustados na calibração.

**Tabela 4 Identificação dos elementos da sub-bacia de contribuição submetidos à análise de sensibilidade.**

Width	Largura característica do escoamento; referente ao caminho percorrido quando há escoamento (m).
Imperv	% de área impermeabilidade
N Imperv	Coefficiente “n” de Manning na área impermeável.
N Perv	Coefficiente “n” de Manning na área permeável.
DStoreImperv	Profundidade de armazenamento em áreas impermeáveis (mm).
DStorePerv	Profundidade de armazenamento em áreas permeáveis (mm).
Zero Imperv	% de área impermeável sem armazenamento.
PercentRouted	% de propagação do escoamento entre as sub-bacias, referente ao escoamento encaminhado entre as sub-bacias de contribuição.
Slope	Declividade da sub-bacia de contribuição.

**Tabela 5 Descrição da modelagem numérica inserida no modelo**

<b>N Imper</b>	<b>N Perv</b>	<b>D StoreImperv</b>	<b>DStorePerv</b>
0.013	0.14	1.7	5.08

O Apêndice B apresenta a descrição dos elementos de entrada (Width, declividade e CN) por sub-bacia de contribuição, na sub-bacia do Iate Clube.

### 5.3.2 Verificação

Após a calibração dos eventos selecionados, fez-se a verificação utilizando os demais eventos do período monitorado, e análise do seu desempenho por meio do Coeficiente de Correlação  $R^2$  e NSE.

### 5.3.3 Simulação das Bacias de Detenção

Fez-se uma avaliação da resposta das 13 diferentes configurações de bacias com a alteração da precipitação incidente sobre a área de estudo. Foram adotados sete eventos diferentes, chamados de Chuva1 a Chuva7, sendo que os três primeiros eventos são eventos de tempo de recorrência – TR de 20 anos, conforme curva IDF adotada para o DF pela NOVACAP.

A partir da Curva IDF para Brasília, equação (8), adotada pela NOVACAP (2005) e que está apresentada na Figura 32, foi possível determinar o tempo de recorrência – TR– dos eventos do período de monitoramento, permitindo também determinar chuvas de projeto para as análises que foram feitas das bacias de retenção, discutidas no item 6.5.

(8)

$i$  = intensidade da precipitação (mm/h)

TR = período de retorno (anos)

D = duração da precipitação (minutos)

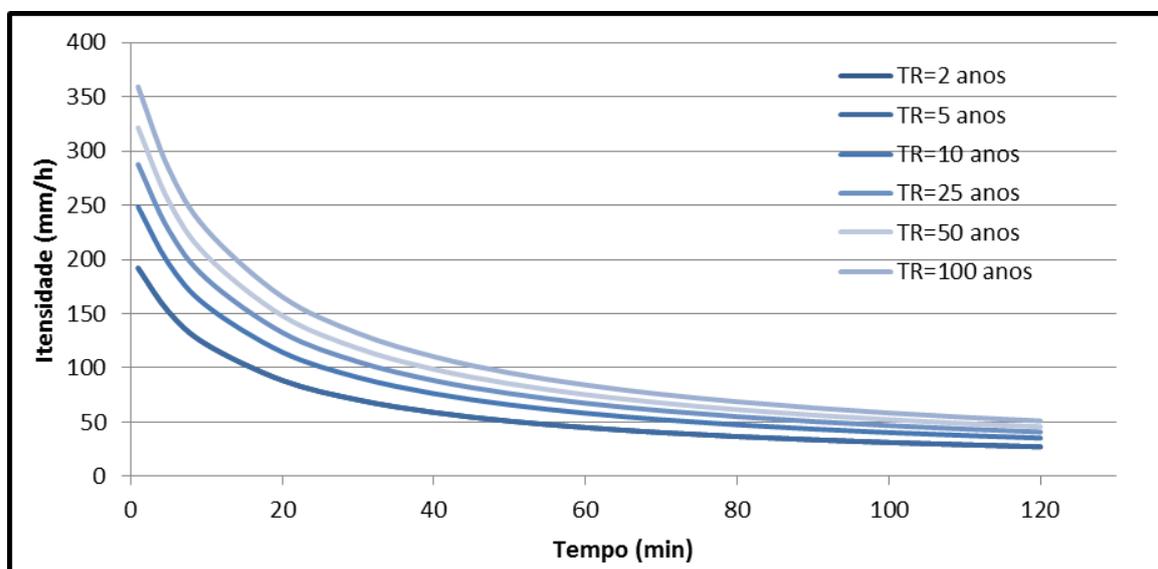


Figura 32 Curva IDF para Brasília (NOVACAP, 2005)

Para as Chuva 4 e Chuva 5 foi adotada a intensidade constante da Chuva 2, enquanto que para a Chuva 6 e 7 manteve-se o volume da Chuva 2, conforme descrito na Tabela 6.

Tabela 6 Variação da precipitação

	Duração (min)	Intensidade (mm/h)	Volume (mm)	TR (anos)
<b>Chuva 1</b>	30	101,96	50,98	20
<b>Chuva 2</b>	60	65,18	65,18	20
<b>Chuva 3</b>	120	39,56	79,12	20
<b>Chuva4</b>	30	65,18	32,59	1.2
<b>Chuva 5</b>	120	65,18	130,58	453
<b>Chuva 6</b>	30	130,35	65,18	93
<b>Chuva 7</b>	120	32,58	65,18	6

A escolha das chuvas uniformes sobre a bacia, de intensidade constante foi uma simplificação adotada, uma vez que, mesmo para a escala estudada a variabilidade espacial e temporal é muito grande. Não foram adotadas distribuições temporais para as chuvas de projeto, pois isso poderia ter forte influência nos efeitos nas diversas alternativas de locação das bacias.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos no monitoramento da vazão, com o levantamento da curva chave, precipitação e qualidade d'água; os efeitos da modelagem hidrológica de forma quantitativa e qualitativa, bem como da implantação de bacias de retenção na área de estudo e suas variações.

### **6.1 MONITORAMENTO**

Um componente importante desse trabalho se refere à implantação de projetos de monitoramento hidrológico e de qualidade de água para avaliar o impacto nos recursos hídricos provenientes de ambiente urbano. Na sequência, são apresentados os resultados obtidos do monitoramento.

#### **6.1.1 Levantamento da Vazão - Curva Chave**

Apesar dos estudos científicos em bacias urbanas terem ganhado importância para um melhor controle dos recursos hídricos, informações sobre levantamentos de vazão em galerias urbanas de águas pluviais são pouco documentadas, porém necessárias para a modelagem hidrológica em bacias urbanas. Assim, descrevem-se nesse item os resultados obtidos para a elaboração da curva-chave e determinação da vazão.

Na sub-bacia do Iate Clube foram feitas tentativas anteriores para obter a curva-chave da galeria, utilizando o equipamento ADC, mas, por limitações do equipamento que mede velocidade máxima de até 2m/s, não foi possível a determinação da curva, uma vez que atingia velocidades de até 6m/s.

A utilização do equipamento H-ADCP permitiu a medição da velocidade do fluxo dentro da galeria. Foram feitas três campanhas de levantamentos da velocidade do fluxo, sendo elas realizadas nos dias 18 de fevereiro, 20 de março e 04 de abril. As velocidades medidas que chegaram a 6,34m/s. Houve uma intensa variação das velocidades medidas na mesma cota do nível d'água, provavelmente devido à característica do escoamento, o que exigiu um tratamento dos dados de velocidade antes de serem utilizados.

As cotas de nível d'água medidas pelo equipamento apresentou uma variação máxima em comparação com o linígrafo instalado de 10cm, sendo considerada para a determinação da curva chave a cota apresentada no linígrafo, por considerar que o H-ADCP pode oferecer maior interferência externa em relação à realidade, devido a forma de medição e instalação inerentes do equipamento.

O tratamento dos dados consistiu em eliminar os ruídos do equipamento que apresentou algumas velocidades negativas ou muito baixas para cotas mais elevadas, fatores que foram resultados da turbulência no escoamento da galeria, provocado por um regime crítico do escoamento, com velocidades significativas, ondas superficiais, típico dos canais artificiais com altas vazões, no caso da macrogaleria em estudo, com degraus que alteram as condições mais a montante.

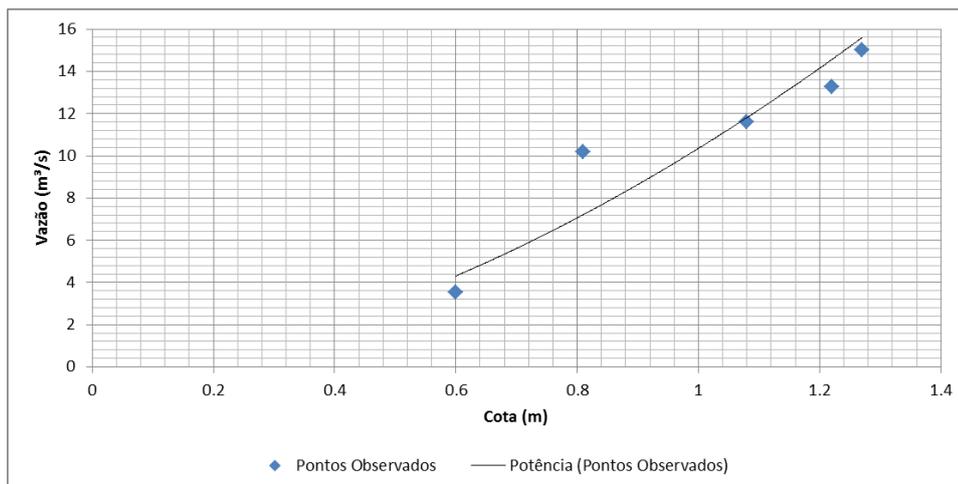
A experiência tem mostrado que o nível d'água ( $y$ ) e a vazão ( $Q$ ) ajustam-se bem à curva do tipo potencial, que é dada por:  $Q = a y^b + h_0$  em que  $a$ ,  $b$  e  $h_0$  são constantes, a serem determinados. Partindo dessa premissa a curva chave obtida está apresentada na equação (10), enquanto a curva teórica, inicialmente utilizada para a bacia em projetos já desenvolvidos na bacia, como realizado por Costa (2013), apresentada pela equação (9), sendo que para a adoção dessa equação foi assumida a hipótese de que ocorre escoamento crítico na borda de um degrau dentro da galeria.

$$Q = a y^b + h_0 \tag{9}$$

$$\tag{10}$$

Após o tratamento dos dados obtiveram-se pontos que se repetiam constantemente e que foram utilizados na construção da curva-chave apresentada na Figura 33, que permitiu traçar a curva de tendência apresentada pela equação (10) que teve um  $R^2$  de 0,87.

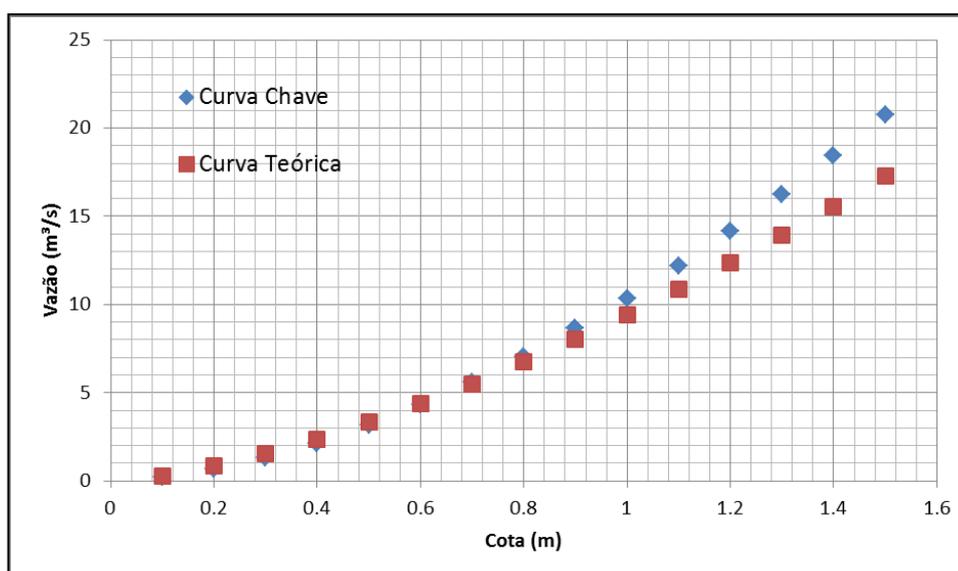
Os pontos considerados na elaboração da curva-chave foram aqueles pontos que se mantiveram constante durante os períodos de estabilização da vazão em uma determinada cota, permitindo várias medições de um mesmo ponto, aumentando a confiabilidade do dado observado. Provavelmente devido a aeração da lâmina d'água provocada pelas sucessivas quedas, diversos valores medidos apresentaram-se inconsistentes.



**Figura 33 Pontos observados e traçado da curva-chave**

Apesar do H-ADCP registrar o nível do escoamento na galeria, optou-se por utilizar os dados armazenados no linígrafo para o mesmo instante de medição, fazendo assim as correções para o H-ADCP, a fim de se manter a confiabilidade das medições do equipamento. Essas correções foram constantes, apresentando uma diferença de 10cm entre os equipamentos.

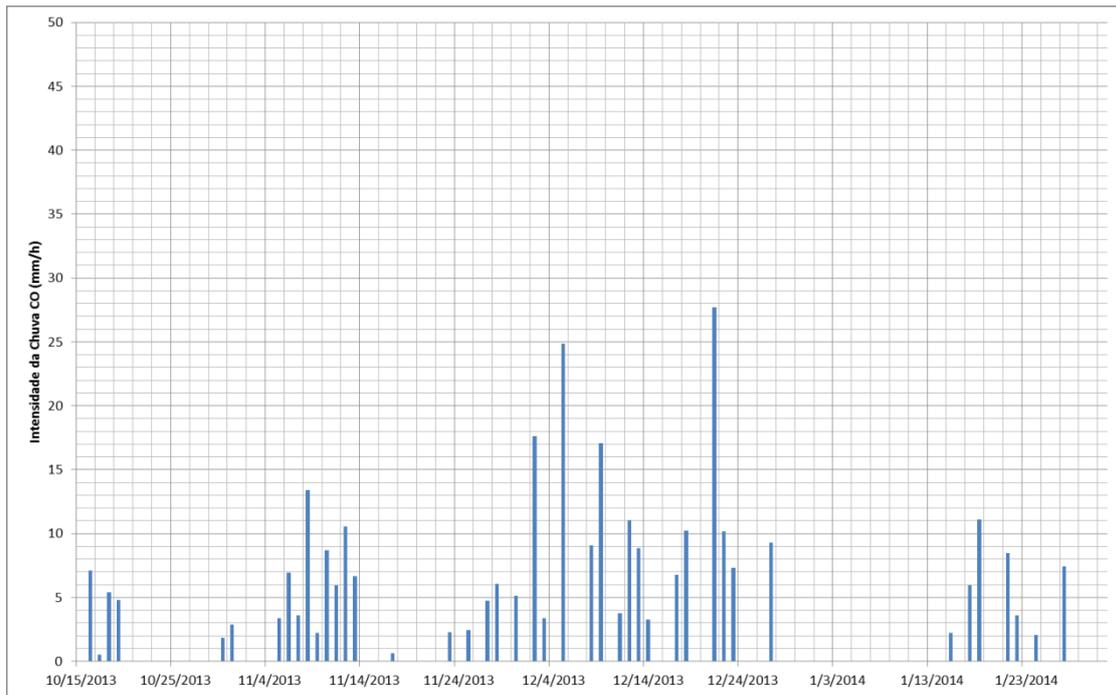
A Figura 34 apresenta o comportamento da curva-chave gerada e a curva teórica. É possível observar que elas são muito próximas, tendo uma variação maior quando as cotas atingem 1m de altura. Optou-se pela utilização da curva teórica nas simulações, em função da pouca confiabilidade da curva experimental levantada, como pode ser observado na Figura 33. Para as finalidades deste trabalho, um possível erro nas vazões não alteraria significativamente as conclusões.



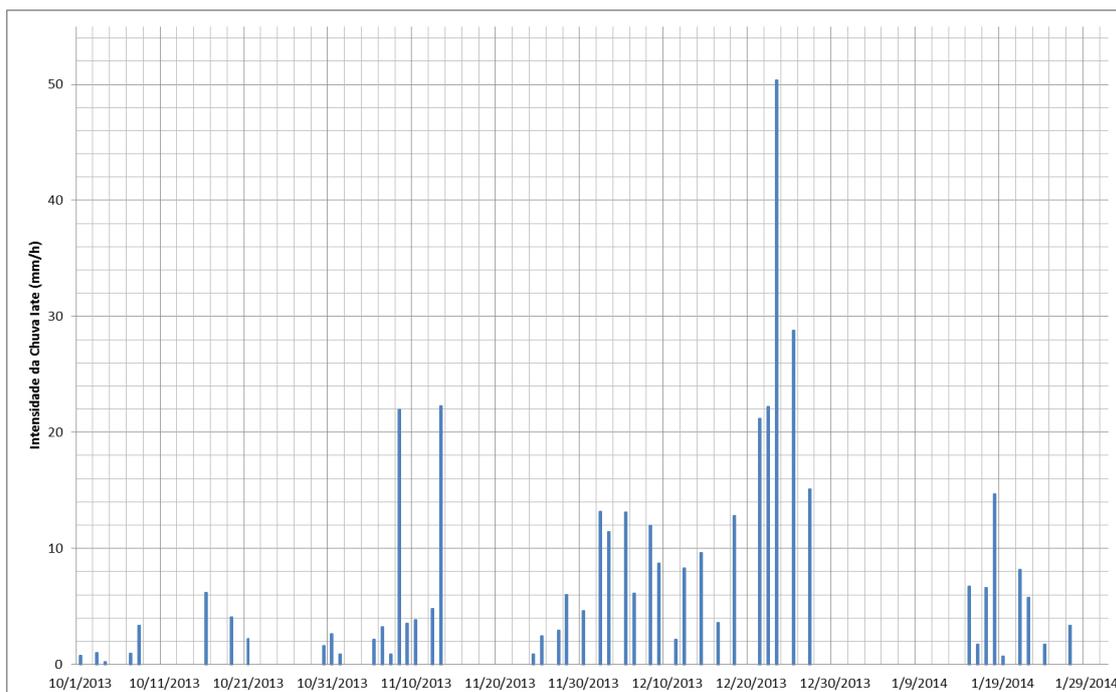
**Figura 34 Gráfico da curva chave para a bacia do Iate Clube**

### 6.1.2 Levantamento da Precipitação

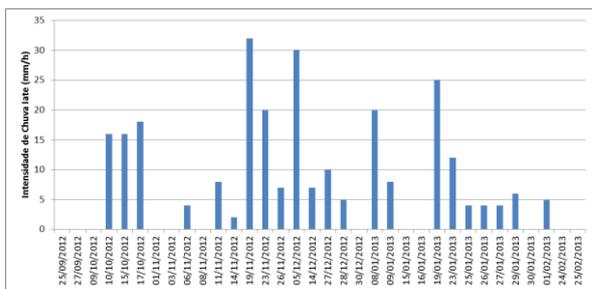
Os dados de precipitação foram coletados durante o período de outubro/2013 a fevereiro de 2014, figuras Figura 35 e Figura 36. Pode-se comparar esses dados com os levantados por Costa (2013) pelo período de outubro 2012 a fevereiro/2013, Figura 37 e Figura 38.



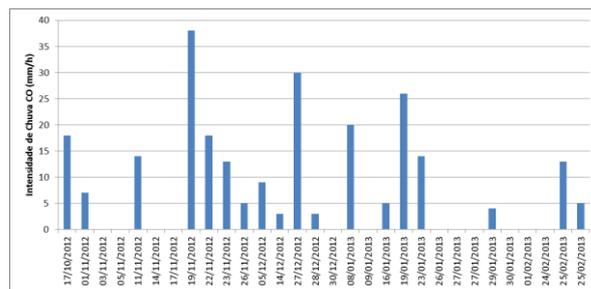
**Figura 35 Levantamento pluviométrico para CO para o ano de 2013/2014**



**Figura 36 Levantamento pluviométrico para Iate Clube para o ano de 2013/2014**



**Figura 37** Intensidade de chuva Iate Clube ano de 2012/2013 por Costa (2013)



**Figura 38** Intensidade de chuva CO ano de 2012/2013 por Costa (2013)

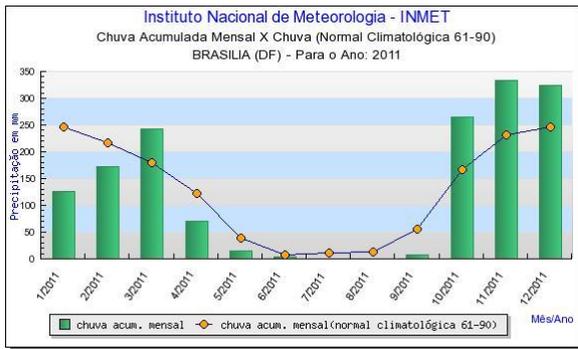
A média de intensidade de chuvas monitoradas por Costa (2013) no CO é de 13,6 mm/h e no Iate de 11,95 mm/h, sendo que os maiores valores atingidos foram respectivamente de 30mm/h e 32mm/h. Já para o ano hidrológico 2013/2014 essas médias são de 7,01 para o CO e de 8,35 para o Iate Clube e os maiores valores de 27mm/h para o CO e 50mm/h para o Iate.

Para o ano hidrológico 2012-2013, analisado por Costa (2013), apesar de também terem ocorrido meses com médias inferiores ao esperado, as médias dos meses de novembro e janeiro foram muito superiores, sendo considerado o terceiro mais chuvoso registrado desde 1961, o que permitiu analisar eventos extremos na bacia como a chuva do dia 19 de novembro de 2012 incidente sobre a bacia do CO, com intensidade de 38mm/h, duração de 166,6 e tempo de retorno de 73 anos e para a bacia do Iate de 15 anos, duração de 150 minutos e intensidade de 32mm/h, dentre os 6 eventos com TR superior a 1 ano.

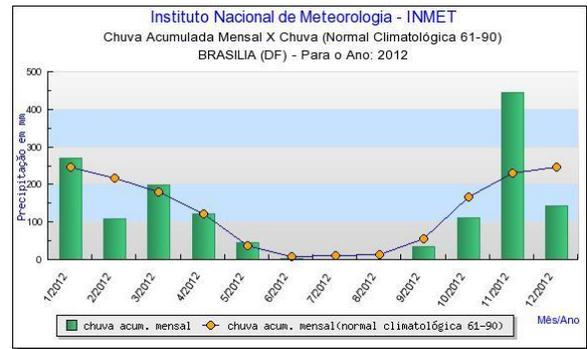
O Apêndice B apresenta os dados referente ao monitoramento de precipitação nas duas bacias de estudo, em que é possível observar que dentre 52 eventos monitorados do Iate Clube, nenhum apresentou TR superior a 1 ano e para os 51 eventos monitorados no CO, apenas 2 tiveram TR superiores a 1 ano

Com o objetivo de analisar o comportamento geral da precipitação monitorada são apresentados os gráficos disponibilizados pelo INMET da precipitação mensal acumulada para os anos de 2011 a 2014, Figura 39 a Figura 42. O ano hidrológico de 2013-2014 apresenta precipitações um pouco abaixo da média nos meses de outubro, novembro, janeiro e fevereiro, sendo que para o período monitorado, apenas dezembro estava condizente com o volume acumulado de chuva esperado para o mês, mostrando a atipicidade do ano hidrológico em análise.

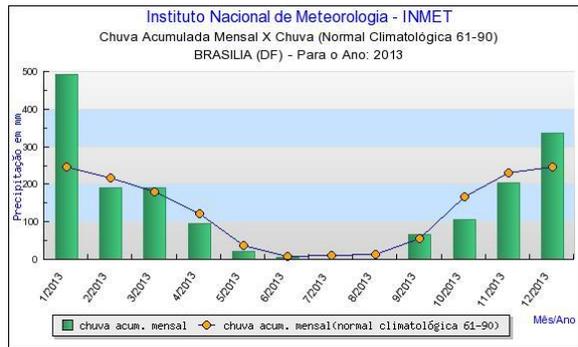
Observa-se também que em março e abril de 2014 a chuva acumulada ultrapassou significativamente os anos anteriores superando a média em mais de 50%, inferindo-se um deslocamento do período com maior acúmulo de chuva, inicialmente outubro, novembro e dezembro de 2011, depois novembro de 2012 e janeiro de 2013 e finalmente dezembro de 2013, março e abril de 2014.



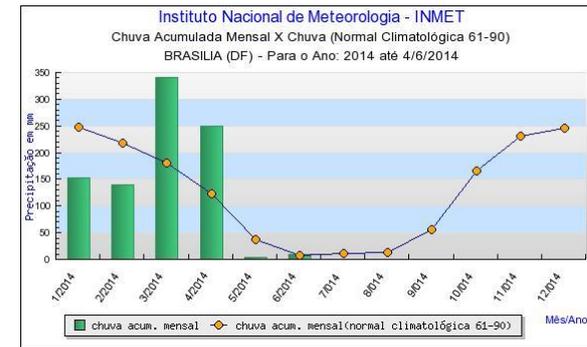
**Figura 39 Precipitação acumulada para o ano de 2011 – INMET**



**Figura 40 Precipitação acumulada para o ano de 2012 - INMET**

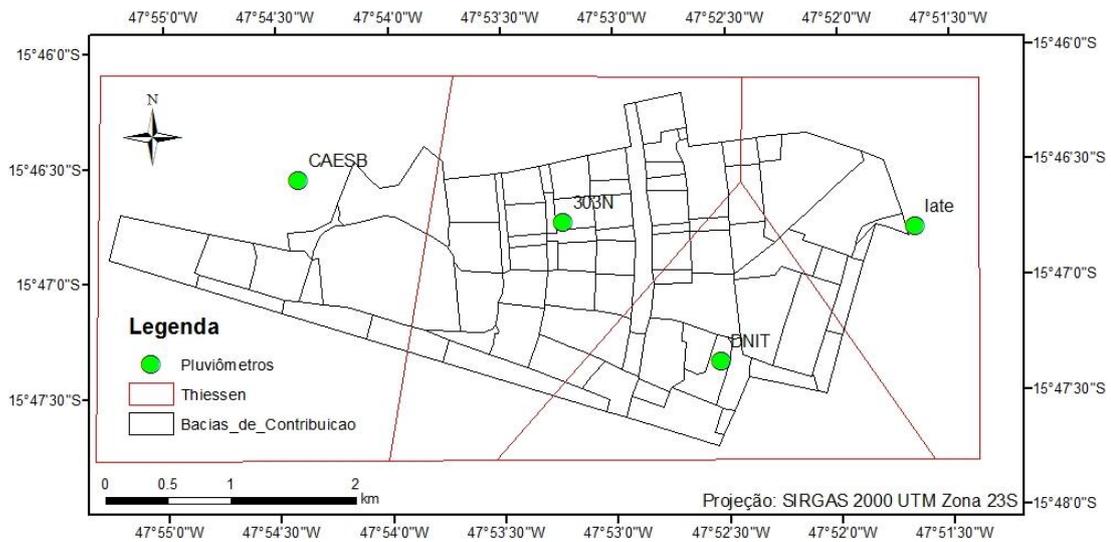


**Figura 41 Precipitação acumulada para o ano de 2013 – INMET**



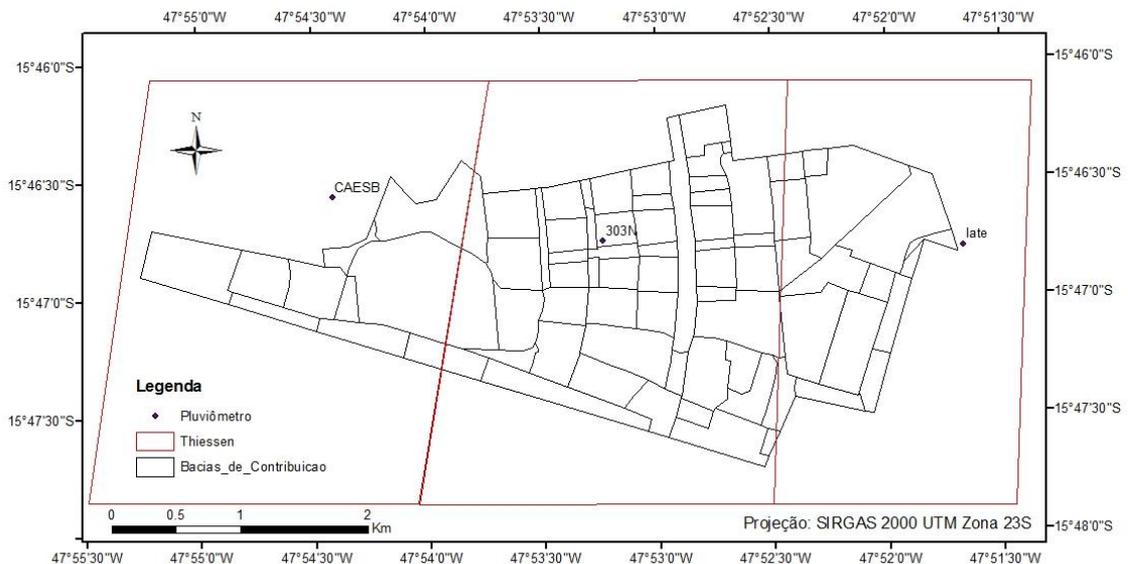
**Figura 42 Precipitação acumulada para o ano de 2014 - INMET**

Com a localização dos pluviômetros instalados nas bacias foi possível determinar a configuração da área de influência de cada um, como mostrado na Figura 43 Polígonos de Thiessen para Bacia do Iate que apresentam a localização dos pluviômetros bem como a sua área de influência em relação às sub-bacias de contribuição.



**Figura 43** Polígonos de Thiessen para Bacia do Iate Clube

A Figura 44 apresenta uma configuração alternativa, pois o pluviômetro instalado no DNIT apresentou alguns erros não solucionados para aquisição dos dados, exigindo uma nova configuração na área de influência dos pluviômetros. Esse traçado consiste basicamente em ligar dois postos adjacentes por um segmento de reta, traçar a mediatriz deste segmento de reta, e ir definindo o polígono para cada posto.



**Figura 44** Polígonos de Thiessen para Bacia do Iate Clube, sem pluviômetro do DNIT.

### 6.1.3 Levantamento da Qualidade da Água

Foram monitorados 52 eventos na bacia do Iate Clube, sendo realizadas 14 campanhas de coleta de amostras retiradas da galeria de drenagem, bem como no CO, onde dos 51 eventos monitorados foram realizadas 15, totalizando 378 amostras coletadas. A capacidade máxima de coleta por evento era de 24 amostras, conforme ilustrado na Figura 45, coletadas em intervalos de 5 minutos entre as amostragens.



**Figura 45** Arranjo de 24 garrafas usadas no Coletor Automático



**Figura 46** Garrafa utilizada com embalagens descartáveis

As embalagens descartáveis, Figura 46, utilizadas nas garrafas facilitaram o trabalho de coleta, pois eliminou uma fase de preparação de campo que seria a de higienização das mesmas além de diminuir a possibilidade de contaminação da amostra.

A Figura 47 mostra os frascos com as amostras recolhidas antes do início das análises físico-químicas, ou conservação, observando os procedimentos indicados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.



**Figura 47** Amostras coletadas no dia 21/01/2014 na galeria do Iate Clube

Os resultados das análises físico-química das amostras coletadas nas galerias do Iate Clube e do CO estão apresentados em seguida, com base nas análises feitas e discutidas a fim de possibilitar a averiguação das diferenças existentes entre as bacias, conforme seu uso, e diferenças segundo o evento em análise.

Observa-se que os valores de concentração de condutividade - Figura 48 e Figura 49 - obtidos variaram de 39 $\mu$ S/cm a 163,4 $\mu$ S/cm sendo que o menor valor foi no evento 12/12/2013 e o maior no dia 21/01/2014. Comparando com a bacia do CO, onde observa-se que os valores de 30  $\mu$ S/cm no dia 12/11/2013 a 120  $\mu$ S/cm no dia 08/11/2013, com um volume precipitado inferior a 15mm sendo também nesse dia visto a maior variação da série. Excluindo esses dias de grande variação, é possível verificar que há uma constância da variável na série de dados monitorada, possibilitando inferir que houve fatores isolados nesses dias que influenciaram especificamente da condutividade.

No que se refere à turbidez - Figura 50 e Figura 51 - a variação encontrada foi de 37,4NTU no dia 21/01/2014 a 557NTU no dia 09/12/2013, enquanto que no CO foi de 34,3NTU no dia 21/01/2014 e 492NTU no dia 09/12/2013. Já para sólidos suspensos - Figura 52 e Figura 53 - os valores máximos na bacia do Iate Clube foram de 439mg/L no evento do dia 09/12/2013 e mínimos de 37mg/L, para os eventos do dia 21/01/2013 e para o CO 429mg/L e 30,5mg/L, enquanto que para sólidos dissolvidos - Figura 54 e Figura 55 – os valores máximos foram de 486,5mg/L a 23,1 mg/L no Iate clube e 405,5 a 21,5 mg/L no CO.

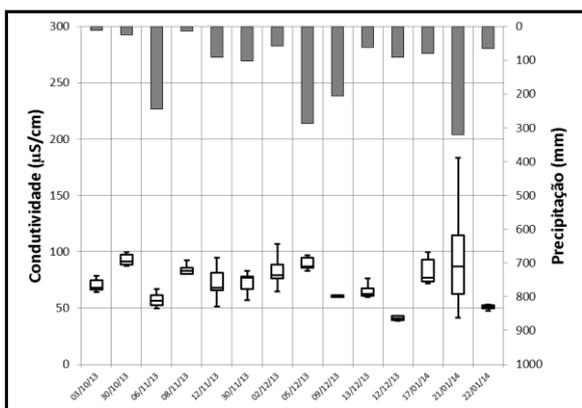


Figura 48 Condutividade Iate Clube

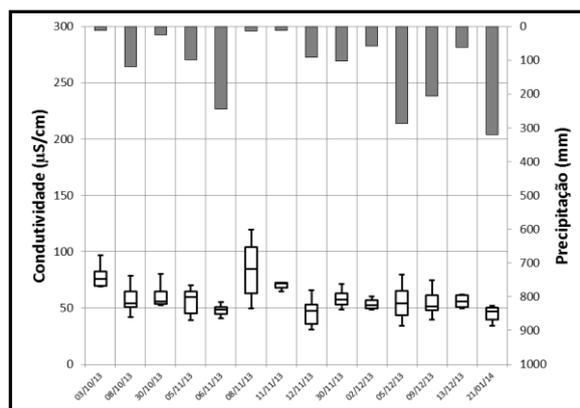


Figura 49 Condutividade CO

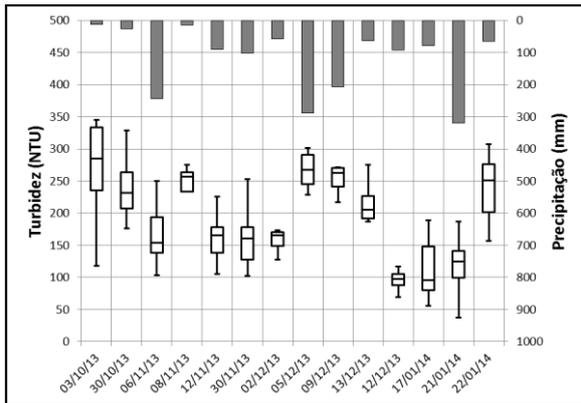


Figura 50 Turbidez Iate Clube

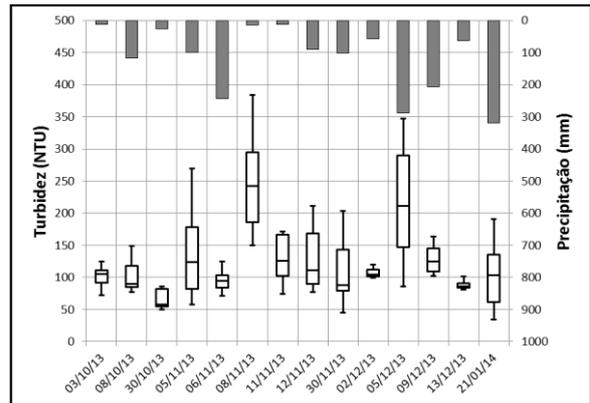


Figura 51 Turbidez CO

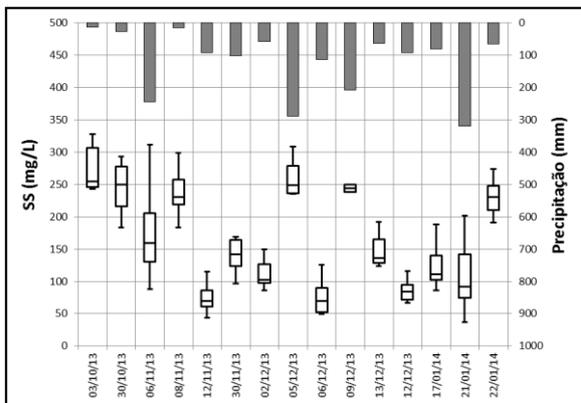


Figura 52 Sólidos Suspensos Iate Clube

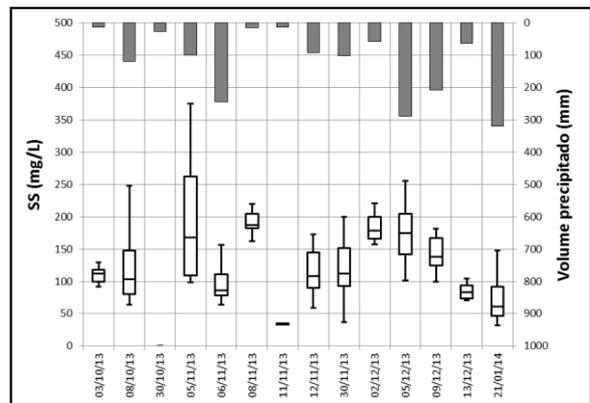


Figura 53 Sólidos Suspensos CO

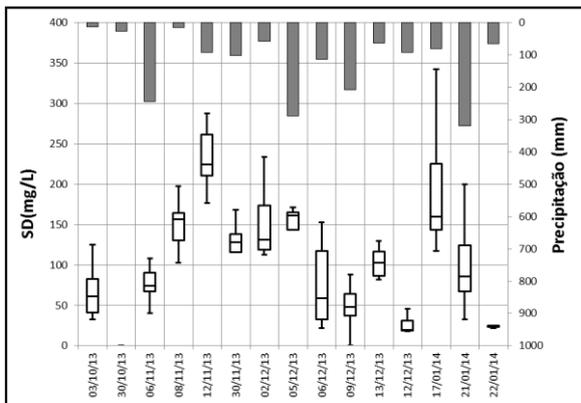


Figura 54 Sólidos Dissolvidos Iate Clube

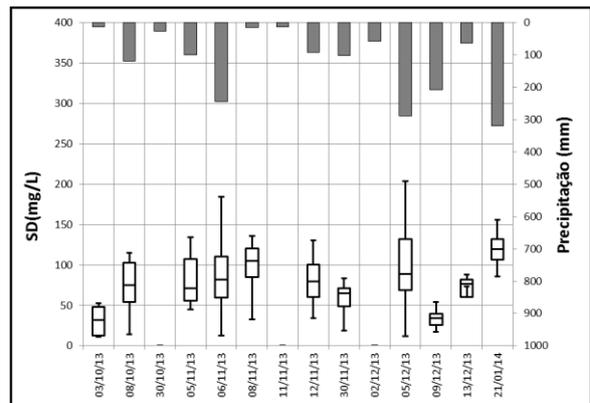


Figura 55 Sólidos Dissolvidos CO

Os *boxplots* apresentados permitem observar a variabilidade das concentrações das variáveis para um mesmo evento, por exemplo, ao verificar os dados de condutividade, observa-se que há pouca variação em um mesmo evento, tanto na bacia do Iate como na bacia do CO, sendo que apenas no evento do dia 21 de janeiro essa variação foi maior, enquanto que no CO o evento que se destacou foi no dia 08/11/13. Para as variáveis de turbidez e sólidos essa diferença de concentração em um mesmo evento é bem maior e inconstante, dificultando a conjectura de um padrão entre um evento e outro.

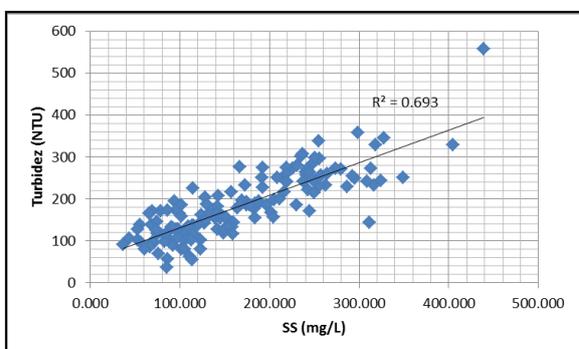
Esperava-se que os eventos que iniciam o período chuvoso fossem compostos das maiores concentrações dos poluentes, reduzindo-a com as chuvas seguintes, porém não foi o que ocorreu. A constante movimentação de solo na bacia devido às obras instaladas, principalmente na bacia do Iate, e as possíveis contribuições de esgoto doméstico na bacia do CO, relatadas por Costa (2013), podem ter contribuído para o aumento da concentração de poluentes ao longo do período chuvoso.

Observa-se que as concentrações das variáveis analisadas acima foram em média superiores na bacia do Iate clube, provavelmente por ter uma ocupação mais variada, o que permite regimes diferenciados de acumulação desses poluente e principalmente pela intensa atividade da construção civil na região, conforme Tabela 7.

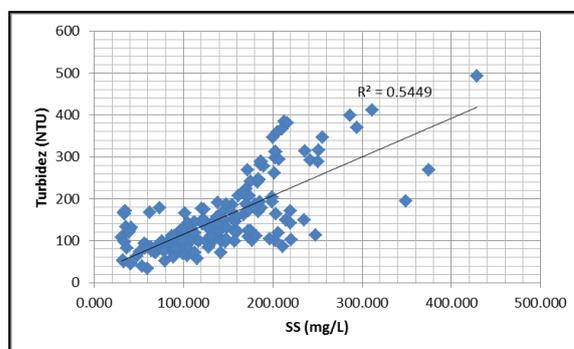
**Tabela 7 Concentração média de Condutividade, Turbidez, Sólidos Suspensos e Dissolvidos.**

	Iate Clube	CO
<b>Condutividade (<math>\mu\text{S/cm}</math>)</b>	72,7	57,8
<b>Turbidez (NTU)</b>	183,5	142,0
<b>Sólidos Suspensos (mg/l)</b>	159,8	134,1
<b>Sólidos Dissolvidos (mg/l)</b>	109,2	85,2

Comparando o comportamento desses parâmetros é possível ratificar a correlação apresentada por Costa (2013) que relata sobre a possibilidade de correlação entre a turbidez e os sólidos suspensos, conforme apresentado na Figura 56 e Figura 57, possibilitando inferir um dado sem a medição, que muitas vezes se torna inviável em uma campanha de monitoramento. Costa (2013) também faz uma correlação entre a condutividade e os sólidos dissolvidos, que não foi observada com os dados obtidos para o ano em estudo, Figura 58 e Figura 59.



**Figura 56 Correlação Turbidez e SS - Iate Clube**



**Figura 57 Correlação Turbidez e SS – CO**

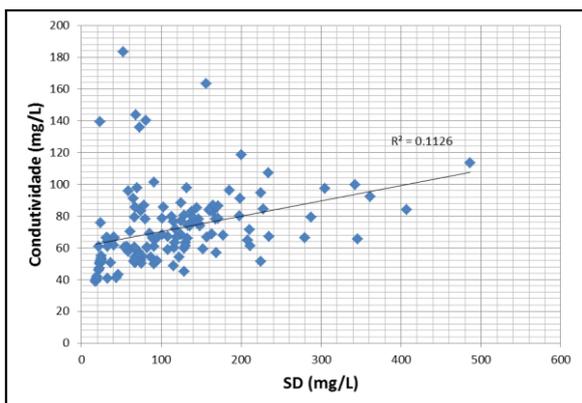


Figura 58 Correlação Condutividade e SD - Iate Clube

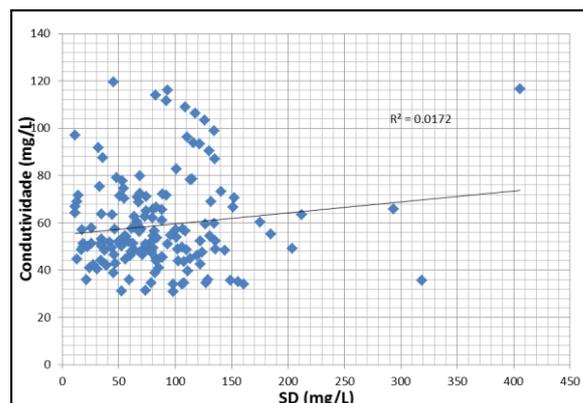


Figura 59 Correlação Condutividade e SD - CO

Esperava-se que maiores concentrações de nitrato no início do período chuvoso com a alteração para amônia, conforme o decurso desse período, porém não é nítida essa percepção ao analisar os gráficos da Figura 60 a Figura 65.

Para as análises de nutrientes observou-se uma tendência da bacia do Iate Clube a apresentar valores inferiores aos apresentados na bacia do CO, comportamento distinto das variáveis já discutidas. Os valores de amônia variaram de 2,35 a 0,018 mg/l, no CO e de 1,975 a 0,023 mg/l no Iate Clube. No que se refere a nitrito a variação encontrada no CO e no Iate Clube foi de 0,187 a 0,001 mg/l, e 0,096 a 0,003 mg/l, para nitrato de 0,70 a 0,01 mg/l e 0,37 a 0,02 mg/l e fósforo de 1,31 a 0,02 mg/l e 0,49 a 0,01mg/l, respectivamente.

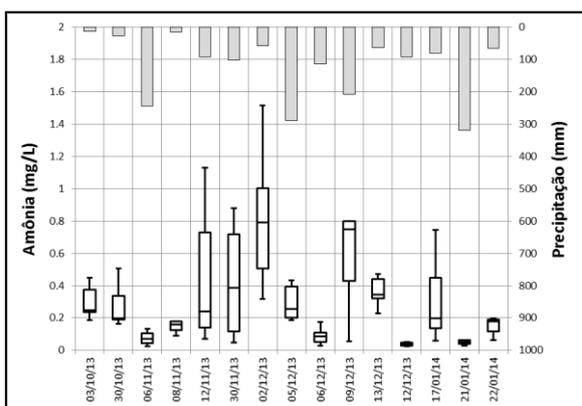


Figura 60 Amônia Iate Clube

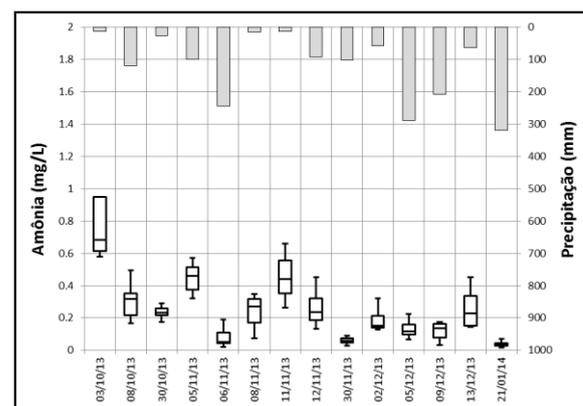


Figura 61 Amônia CO

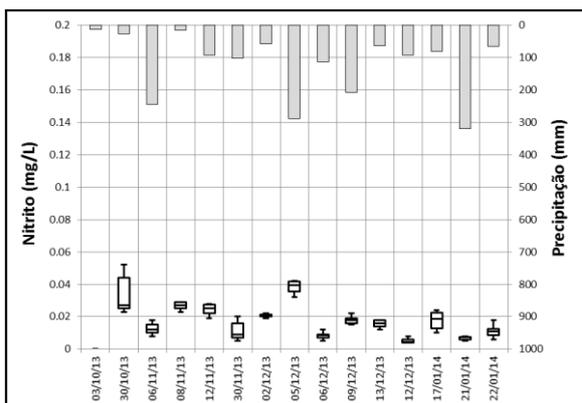


Figura 62 Nitrito Iate Clube

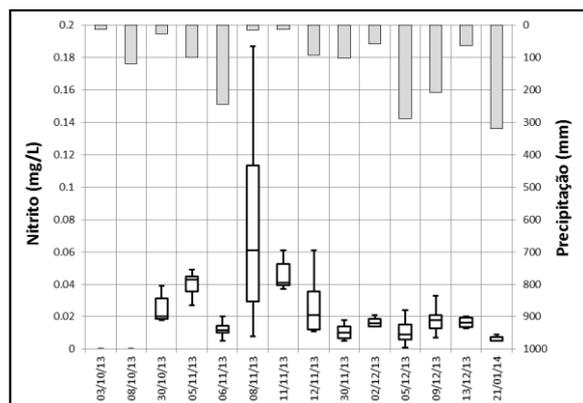


Figura 63 Nitrito CO

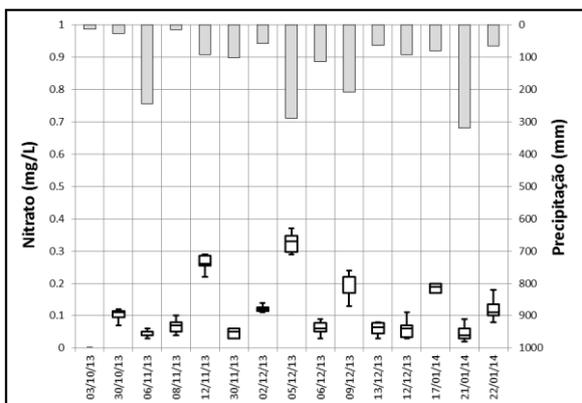


Figura 64 Nitrato Iate Clube

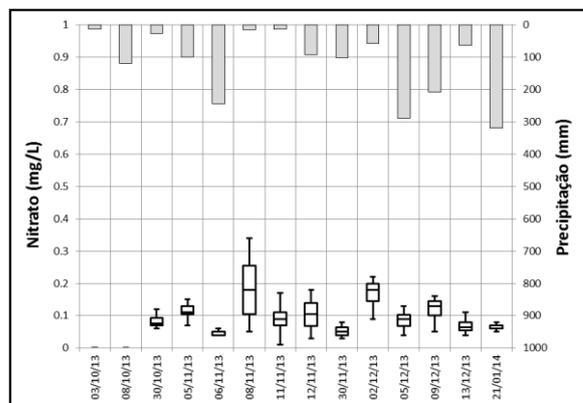


Figura 65 Nitrato CO

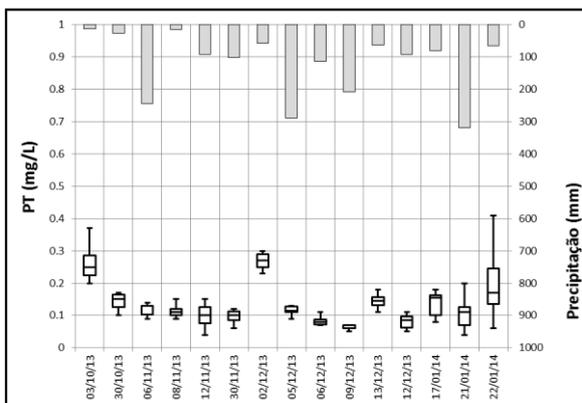


Figura 66 Fósforo Total Iate Clube

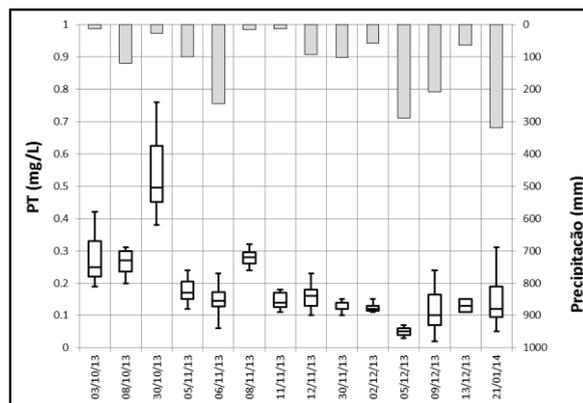


Figura 67 Fósforo Total CO

As variações citadas dificultam a análise dos dados entre os eventos. Por exemplo, observa-se que para nitrito há uma constância na concentração tanto na bacia do Iate Clube como na do CO, sendo que apenas no dia 08/11/2013 na bacia do CO houve uma discrepância do que foi visto nos demais eventos, porém para amônia, nitrato e fósforo não é nítida qualquer tendência, seja de decaimento ou aumento das concentrações.

É possível notar que a variância no Iate clube é maior que no CO nas variáveis de nitrogênio. Esse comportamento é resultante dos altos valores obtidos nas amostras do início de cada evento que foram superiores no Iate Clube, chegando a uma estabilização conforme o evento tem prosseguimento, desempenho atribuído à diferença de ocupação da bacia.

Quanto às análises de matéria orgânica, medida pelo método indireto de DQO (Demanda Química de Oxigênio) apresentaram, em geral, pouca variabilidade, sendo que os eventos do dia 17/01, na bacia do Iate Clube e 05/11, na bacia do CO foram os únicos que mais se distanciaram da média do dia. É difícil comparar o mesmo evento entre as bacias devido à variabilidade espacial e incidência da chuva para um mesmo evento. No Iate Clube as concentrações variaram de 458mg/L a 4mg/L e no CO de 343mg/L a 3mg/L, sendo a média para as bacias de 50,2mg/L e 42,2mg/L respectivamente.

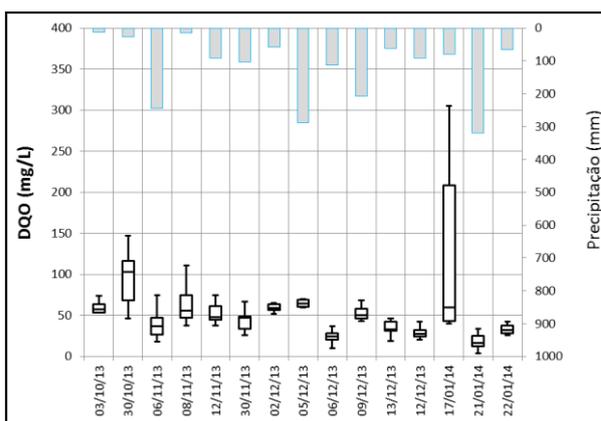


Figura 68 DQO Iate Clube

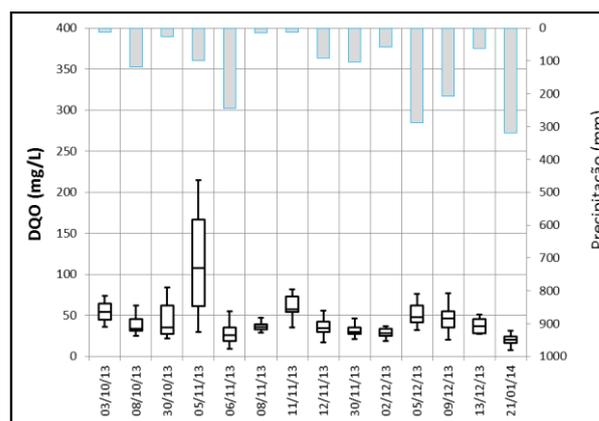


Figura 69 DQO CO

As cargas de poluentes geradas nas bacias são apresentadas na Figura 70 (Iate Clube) e Figura 71 (CO). É possível comprovar que as cargas geradas no Iate clube foram, em geral, superiores as do CO, principalmente para nitrogênio, que superou, em média, 31% e matéria orgânica em 30%, sendo que apenas para fósforo o CO obteve cargas médias superiores.

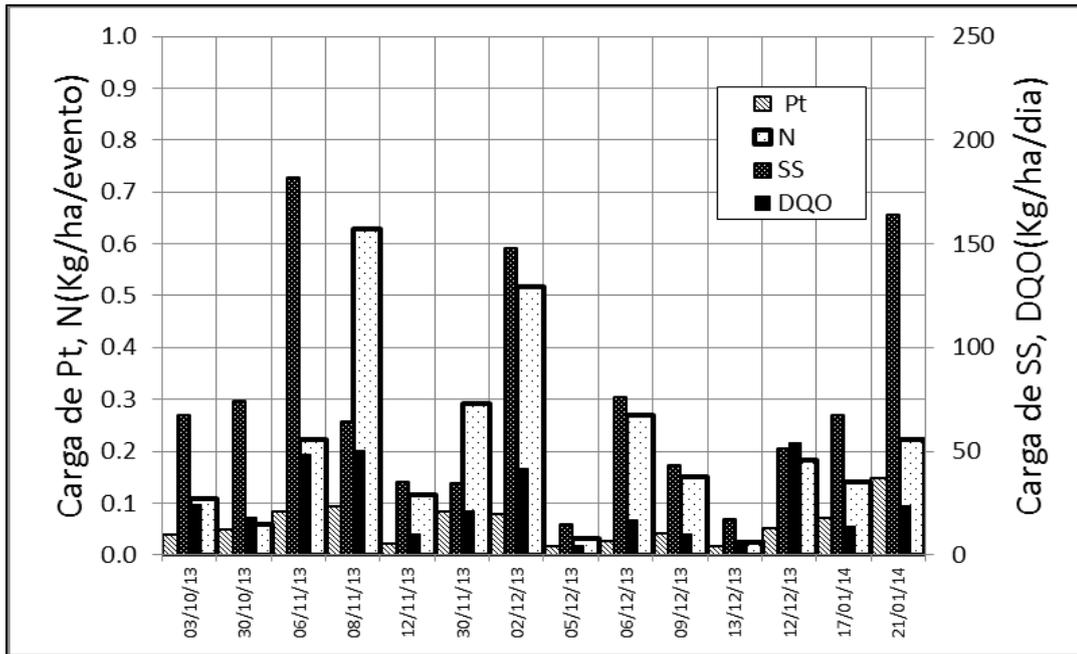


Figura 70 Cargas geradas no Iate Clube entre 2013 e 2014.

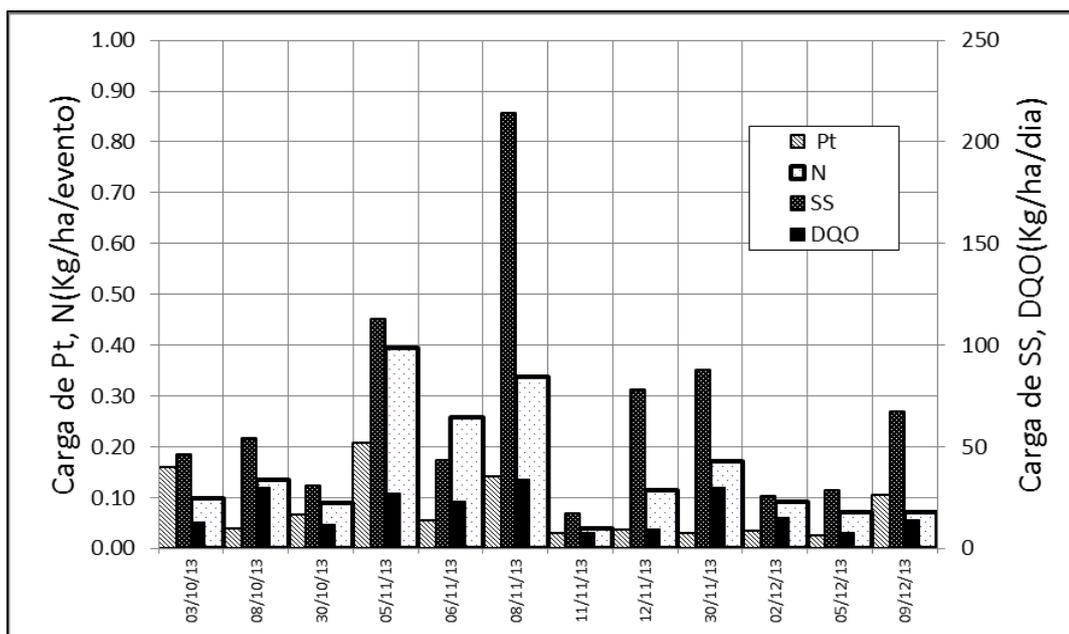


Figura 71 Cargas geradas no CO entre 2013 e 2014.

Comparando com as cargas geradas para o ano hidrológico 2012/2013, observa-se diferença de magnitude significativa em todos os parâmetros. Um fator que pode ter influenciado tal dinâmica é a característica da precipitação do ano para os meses monitorados. As cargas do CO continuam sendo menores que as observadas no Iate, porém, com relação ao o monitoramento feito por Costa (2013) no período de 2012 a 2013, o período de 2013 a 2014

apresenta, em geral, um maior escoamento de poluentes para a galeria de drenagem, excetuando-se as variáveis DQO e Pt.

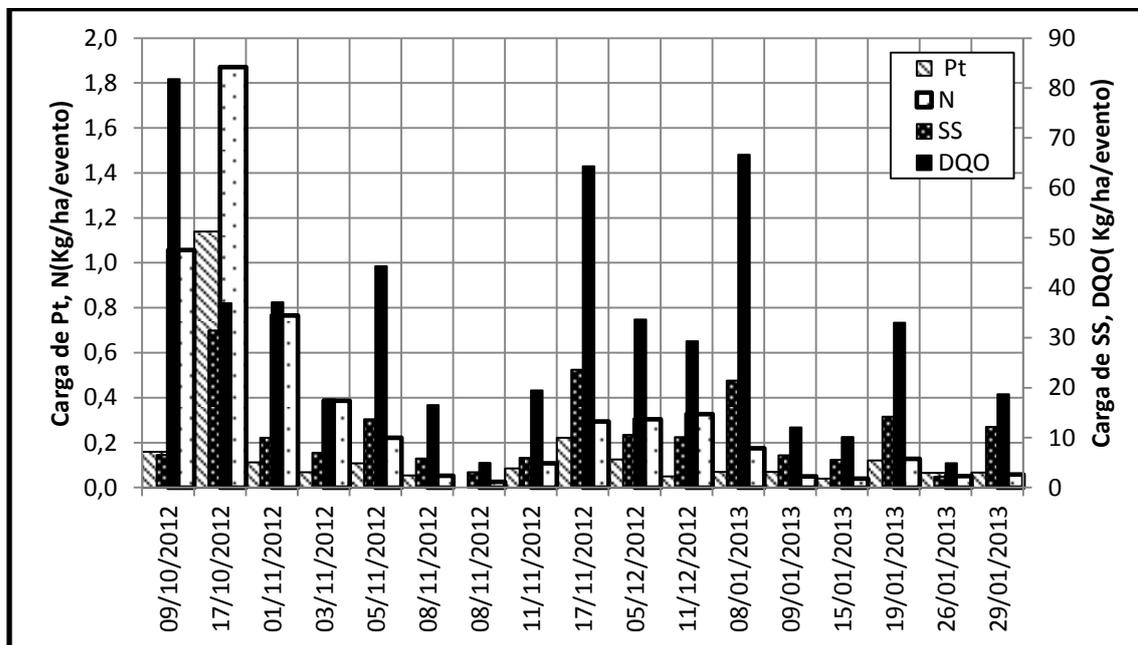


Figura 72 Cargas Iate Clube ano 2012-2013 (Costa, 2013)

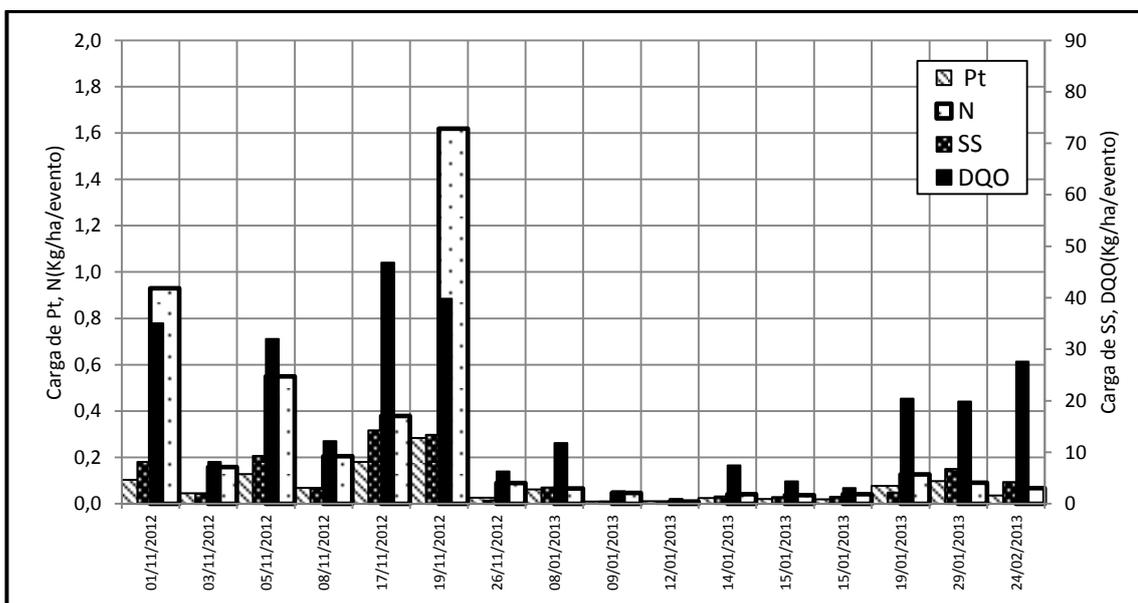


Figura 73 Cargas CO ano 2012-2013 (Costa, 2013)

As Tabela 8 e Tabela 9 apresentam a análise estatística dos resultados do monitoramento em ambas as bacias. Comparando com o trabalho elaborado por Campana (2010), que avaliou a qualidade do escoamento na rede de drenagem pluvial urbana na bacia do CO, Tabela 10, em que é possível notar que os valores medidos para DQO estão bem elevados, sendo que a

média dessa concentração está 90% superior, enquanto que para SS esses valores estão mais conexos.

**Tabela 8 Análise estatística da concentração (mg/l) das variáveis para o Iate Clube**

Iate Clube	SD	SS	Cond.	Turb.	DQO	NH3	NO2	NO3	Pt
<b>Média</b>	109.15	159.80	72.75	183.56	50.35	0.28	0.02	0.10	0.13
<b>Erro padrão</b>	6.92	6.59	2.09	6.38	3.83	0.03	0.00	0.01	0.01
<b>Mediana</b>	88.75	142.00	66.90	171.00	42.00	0.15	0.01	0.07	0.11
<b>Desvio padrão</b>	83.61	83.16	25.11	76.82	48.10	0.34	0.01	0.08	0.07
<b>Mínimo</b>	0.50	37.00	11.20	37.40	4.00	0.02	0.00	0.02	0.01
<b>Máximo</b>	486.50	439.00	183.40	557.00	458.00	1.98	0.10	0.37	0.49
<b>Nº de amostras</b>	146	159	144	145	158	159	152	152	158

**Tabela 9 Análise estatística da concentração (mg/l) das variáveis para CO**

CO	SD	SS	Cond.	Turb.	DQO	NH3	NO2	NO3	Pt
<b>Média</b>	85.50	134.11	57.81	142.06	42.24	0.23	0.02	0.10	0.20
<b>Erro padrão</b>	4.45	4.71	1.19	5.65	2.11	0.02	0.00	0.01	0.01
<b>Mediana</b>	79.00	126.06	53.10	114.00	36.00	0.17	0.01	0.08	0.15
<b>Desvio padrão</b>	55.00	66.31	17.39	82.49	30.92	0.26	0.01	0.08	0.16
<b>Mínimo</b>	11.22	30.50	30.80	34.30	3.00	0.02	0.00	0.01	0.02
<b>Máximo</b>	405.50	429.00	119.60	492.00	343.00	2.35	0.10	0.70	1.31
<b>Nº de amostras</b>	153	198	215	213	215	212	152	189	212

**Tabela 10 Valores de referência mais frequentemente encontrados no escoamento pluvial urbano evidenciados por Campana (2010)**

Parâmetros	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
<b>DQO</b>	mg/l	0,87	84	22,40	21,40
<b>SS</b>	mg/l	30,31	329,17	142	12,80

As análises estatísticas dos resultados das concentrações obtidas para nutrientes apresentadas por Costa (2013) estão condizentes com as apresentadas nas Tabela 8 e Tabela 9. Em uma análise geral observa-se que o erro padrão está relativamente baixo para a faixa média dos dados avaliados, porém o desvio padrão dos dados é bastante elevado o que permite inferir sua dispersão amostral.

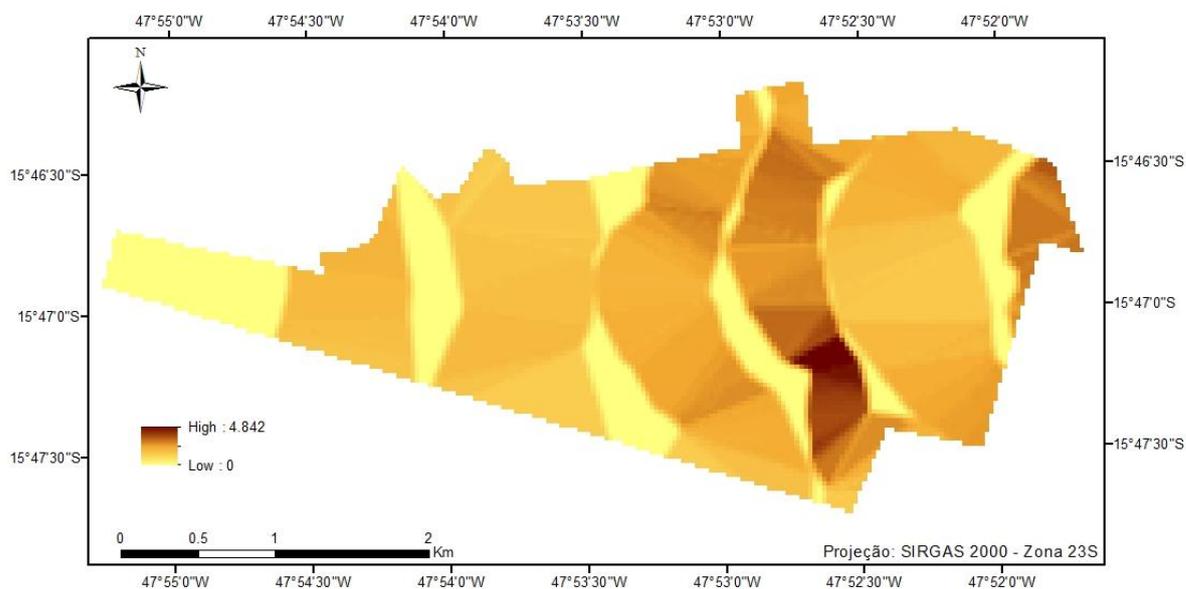
## 6.2 MODELAGEM NUMÉRICA DA BACIA DO IATE CLUBE

### 6.2.1 Determinação das Sub-bacias de Contribuição da bacia do Iate Clube.

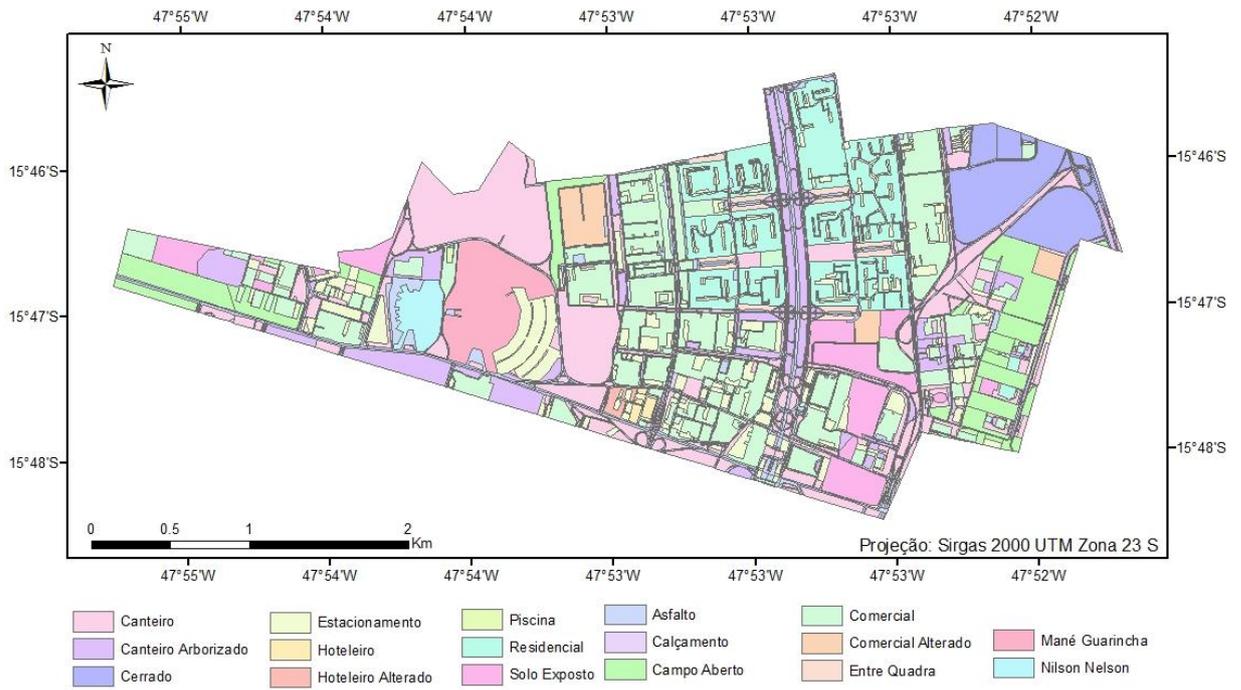
Para determinação das sub-bacias de contribuição, foram utilizados o mapa de declividade (Figura 74) e o mapa de uso do solo (Figura 75), por meio dos quais identificaram as características comuns para gerar o mapa das sub-bacias de contribuição (Figura 76).

O Mapa de Declividade gerado, Figura 74, indica que a cabeceira da bacia é mais plana sendo que tem uma maior declividade ao se aproximar do exutório e também na área sudeste do mapa. Foi feita uma análise da declividade nas áreas adjacentes à bacia em estudo para avaliar suas influências e verificou-se que a declividade dessas áreas é baixa e que o terreno em grande parte é plano.

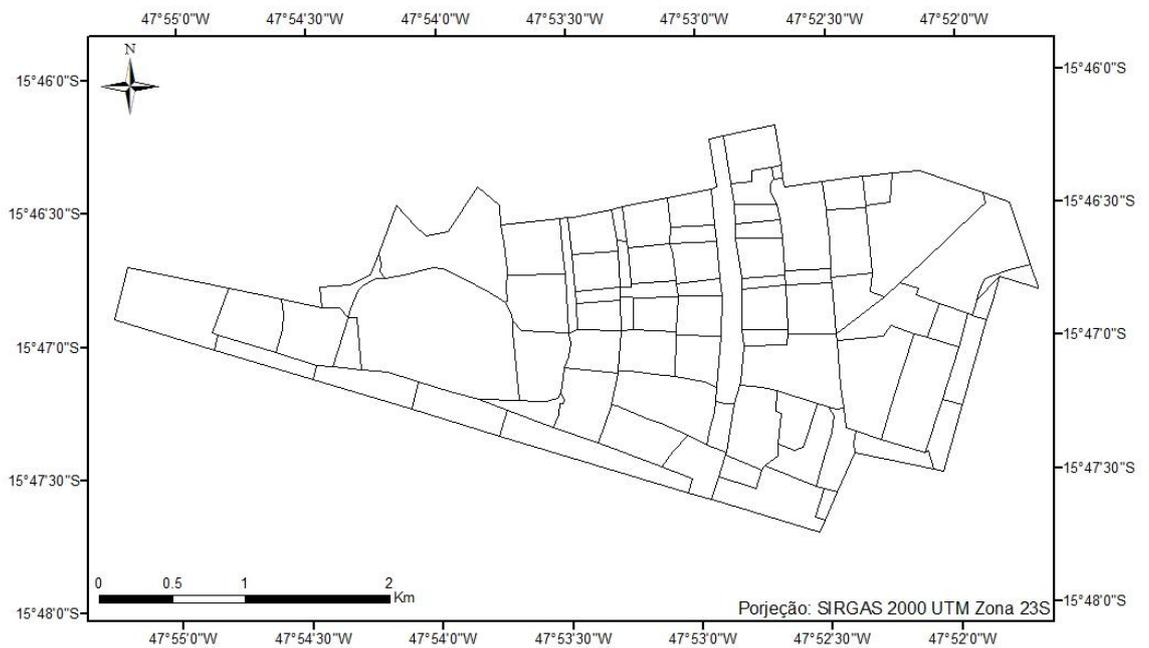
A Figura 75 apresenta o mapa de uso do solo para o ano 2013 que foi elaborado manualmente na escala de 1:1000 por meio do software de geoprocessamento ArcGIS 10.1 sobre ortofoto de abril de 2013, disponibilizada pela TERRACAP.



**Figura 74** Mapa de declividade da bacia do Iate Clube



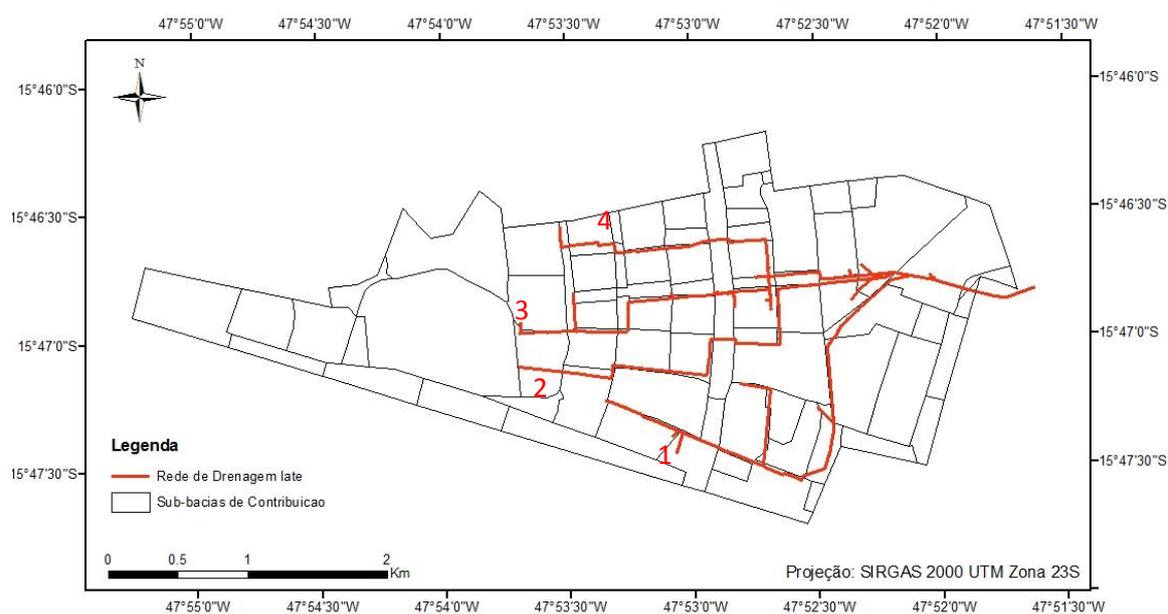
**Figura 75** Mapa de uso do solo da bacia do Iate Clube



**Figura 76** Representação das Sub-bacias de Contribuição da bacia do Iate Clube.

## 6.2.2 Rede de Macrodrenagem da bacia do Iate Clube

A Figura 77 apresenta a rede da macrodrenagem levantada pela NOVACAP em 2009. A rede é constituída de quatro eixos principais: a galeria 1 constituída de 3,97Km; a galeria 2 de 3,77Km; a galeria 3 de 2,68Km; e a galeria 4 de 4,75Km que convergem para uma macrogaleria exutória, de seção 3,00m x 3,00m, que deságua no lago Paranoá. Todos os poços de visita que faziam a conexão entre as redes de drenagem coletora e as redes de drenagem principais foram cadastrados.



**Figura 77 Mapa representativo da rede de macrodrenagem da bacia do Iate Clube.**

## 6.2.3 Rede de Microdrenagem parcial – Superquadras 202 e 402 Norte

O levantamento da microdrenagem foi feito in loco, com a marcação de cada bueiro, na planta da quadra e posterior e inserção no software de SIG, ArcGIS10.1. A área selecionada engloba as quadras 202 e 402 Norte e a comercial da quadra 402 Norte, e foi adotada por ter boa representatividade dos usos da bacia e ser uma área mais a jusante, o que pode representar um maior carregamento no sistema de macrodrenagem.



**Figura 78 Levantamento das bocas de lobo para as quadra 202 e 402 da Asa Norte.**

As estruturas típicas encontradas como meio-fio, sarjetas, bocas-de-lobo, poços de visita, galerias estavam em bom estado de manutenção, sendo que os pontos identificados na Figura 78 são as bocas-de-lobo. Essas estruturas apresentavam características de localização que visam à eficiência na condução das vazões superficiais para as galerias como: estar presente em ambos os lados da via, nos pontos mais baixos de cada quadra, evitando as esquinas. Não foram encontrados durante o levantamento obstruções das estruturas ou resíduos que pudessem causar tais obstruções. As bocas de lobo são ilustradas na Figura 79.



**Figura 79 Exemplos de bocas-de-Lobo na quadra 402 norte**

A Figura 80 apresenta o traçado da rede adotada para o modelo ao simular a rede de microdrenagem, em que foi determinada a rede com condutos que ligam os pontos levantados pelas bocas-de-lobo considerando a direção do fluxo obtida a partir de ferramenta de geoprocessamento. A microdrenagem foi configurada com a mesma rugosidade da macrodrenagem e seção circular com diâmetro de 0,5m, utilizado pela NOVACAP, observando a velocidade máxima de 5,0 m/s e mínima de 0,60 m/s.



**Figura 80 Rede de microdrenagem obtida entre as quadras 206 e 406 representadas pelo modelo.**

## **6.3 SIMULAÇÕES DE VAZÃO**

### **6.3.1 Resultados da Simulação**

Os valores dos parâmetros foram calibrados para reduzir os erros. Para mensurar essa otimização foram usados o coeficiente de NSE e o  $R^2$ . Para uma calibração de dados diários resultados de NSE superiores a 0,4 e  $R^2$  superiores a 0,5 são considerados aceitáveis, conforme Green e Griesven (2008), Santhiet *et. al.* (2001) e Van Liewet *et. al.* (2003).

Inicialmente fez-se a análise de sensibilidade dos parâmetros descritos na Tabela 4 e dentre os parâmetros analisados, o Curva Número e *width* foram os que se mostraram de maior influência no modelo, sendo o *width* o parâmetro que indica a largura característica do escoamento, ou seja, o caminho percorrido quando há escoamento. O modelo se mostrou mais

sensível aos coeficientes de Manning, tanto para área impermeável quanto para área permeável, que ao CN e *width*.

Após a análise de sensibilidade foi feito o processo de calibração, por meio do qual foi possível alterar os parâmetros listados percentualmente e observar o comportamento que cada alteração gerava graficamente, ao sobrepor os gráficos dos dados observados e os dados gerados na simulação, e estatisticamente, ao comparar  $R^2$  e NSE. Com essa análise comparou-se a vazão simulada com a vazão observada na galeria em um ponto próximo ao exutório.

Apesar dos mais de 50 eventos monitorados na bacia de estudo, 20 permitiram realizar a simulação para averiguar a vazão na galeria, devido, principalmente, a posição do linígrafo, que realizava medições quando o escoamento atingia uma altura mínima de 16 cm, ou seja, quando as chuvas geram vazões muito baixas na galeria, mesmo que por um espaço temporal significativo, esse evento não é registrado pelo equipamento.

Foram selecionados os eventos constantes na Tabela 11, que geraram vazões mais elevadas, para calibração e verificação do modelo. Para a realização da calibração foram escolhidas três classes de eventos, sendo que os eventos marcados com asteriscos são aqueles usados para calibração, ressaltando em vermelho os coeficientes atingidos.

Os eventos foram divididos em 3 classes, em que se buscou agregar aqueles eventos com dias antecedentes de chuva, intensidade e volume precipitado. A Classe I representa aqueles eventos após um período de chuvas, em que o solo está saturado e com intensidades e volumes precipitados medianos. A Classe II representa aqueles eventos em que após uma breve estiagem, ou com precipitações antecedentes muito baixas, com intensidade e volume precipitado mais baixo. E a Classe III são aqueles eventos em que o volume precipitado foi muito baixo e que as Classes I e II não conseguiram representar.

A Tabela 11 apresenta os resultados da modelagem de vazão na sub-bacia do Iate. Observa-se que aqueles eventos destacados foram os utilizados na calibração do modelo, conforme a classe, sendo os demais eventos utilizados na verificação do modelo.

Tabela 11 Resultado da modelagem hidrológica de vazões na galeria do Iate Clube

Classe	Evento	R <sup>2</sup>	Nash	Evento	R <sup>2</sup>	NSE
I	08 Novembro	0,6	0,4	*28 Novembro	0.90	0.94
	10 Novembro	0.75	0.60	27 Dezembro	0.81	0.60
	12 Novembro	0.80	0.60	22 Janeiro	0,6	0,7
	13 Novembro	0.76	0.50			
II	30 Novembro	0.86	0.60	21 Dezembro	0.95	0.5
	*02 Dezembro	0.90	0.80	23 Dezembro	0.78	0.53
	05 Dezembro	0.80	0.72	17 Janeiro	0.75	0.70
	06 Dezembro	0.74	0.71	18 Janeiro	0.94	0.80
	12 Dezembro	0.85	0.83	21 Janeiro	0.89	0.70
III	*27 Novembro	0.6	0.5	09 Dezembro	0.7	0.5
	03 Dezembro	0.23	0.17			

A Figura 81 apresenta o hidrograma referente ao dia 12 de novembro, em que é possível analisar a vazão observada e simulada, conforme a ocorrência da precipitação sobre a área de estudo. Foram obtidos para essa simulação um R<sup>2</sup> de 0,8 e NSE de 0,6, conforme descrição da Tabela 11, em que é possível observar que a verificação para os demais eventos apresentou resultados muito próximos.

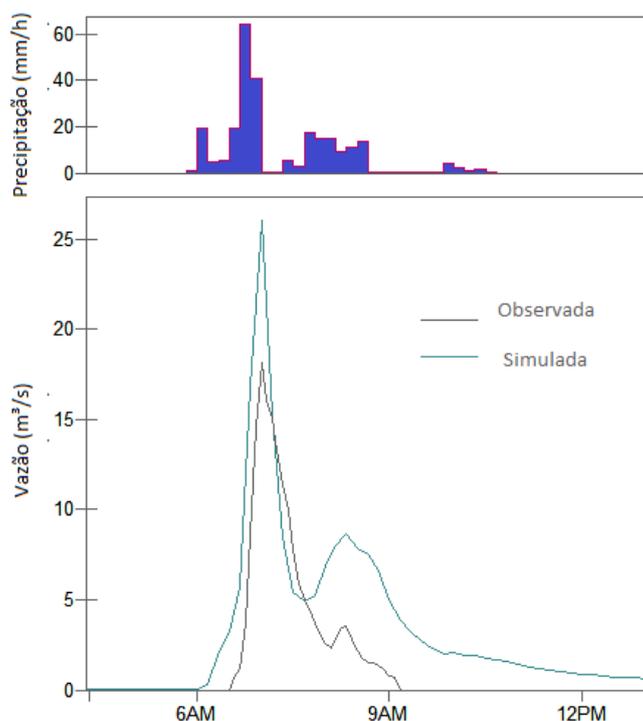


Figura 81 Hidrograma referente ao dia 12 de novembro

Os resultados dispostos na Tabela 11 são satisfatórios com base nos valores de  $R^2$  e NSE em todas as classes, sendo que apenas um evento não se obteve um resultado aceitável. A separação dos eventos em classes possibilitou melhor representatividade do modelo.

Foi feito também uma verificação do evento calibrado do dia 28 de novembro para todo o período de novembro, a fim de avaliar se o modelo é eficiente para fazer essa representação, e obteve-se resultados de Nash de 0,58 e  $R^2$  de 0,8, indicando a possibilidade de simulação por período com boa representatividade.

Apesar do monitoramento pluviométrico da bacia ter sido abrangente, fez-se uma análise da influência de cada pluviômetro quanto ao seu grau de influência em toda a superfície da bacia, tendo em vista que não são raras as vezes em que não é possível a instalação de equipamentos em várias partes da bacia, principalmente se tratando de uma bacia urbana considerada pequena como a em questão.

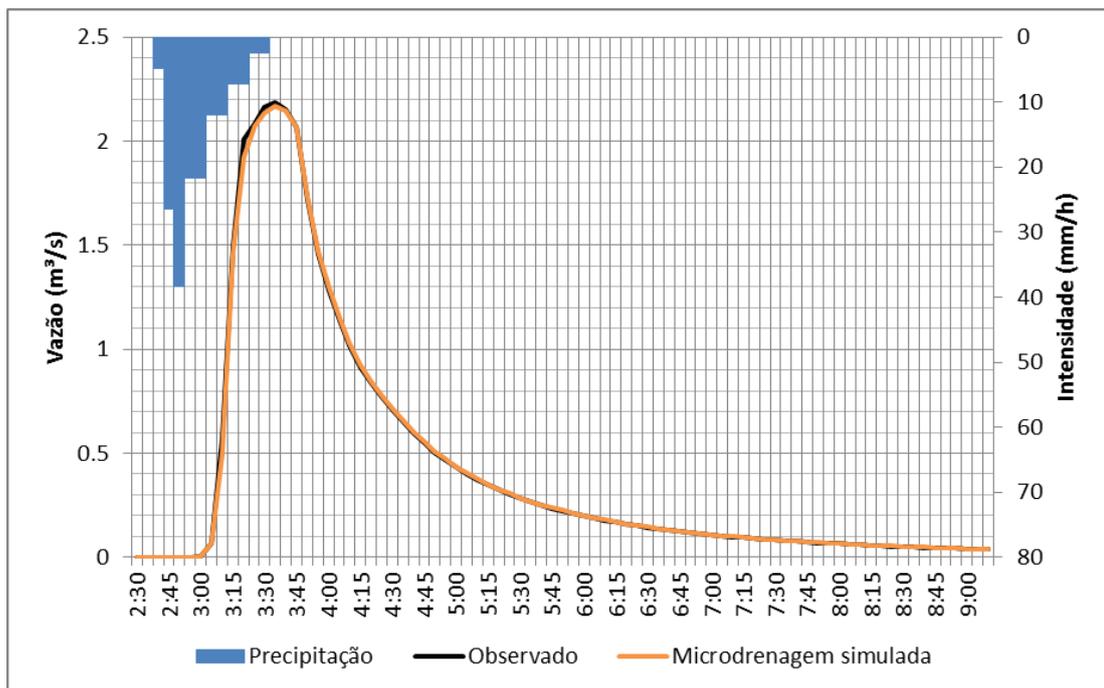
Fez-se, portanto, simulações considerando: primeiramente apenas os dados do pluviômetro da 303N, depois da Caesb, e finalmente do Iate. Após a análise notou-se que o pluviômetro instalado no meio da bacia, 303N foi o mais representativo, sendo que os resultados apresentados por ele ficaram bem próximos do resultado final da modelagem inicial, sendo que o pluviômetro da Caesb, que fica localizando mais no início da bacia, deslocou um pouco a curva da vazão simulada e o do Iate subestimou a vazão.

Entende-se que essa é uma análise preliminar e que apenas ilustra a grau de variação espacial da chuva na bacia de estudo e que pode ser estendida para toda a região, indicando uma das dificuldades em representar assertiva das condições pluviométricas da bacia.

### 6.3.2 Avaliação da Microdrenagem

Com o levantamento da rede de microdrenagem foi possível avaliar a influência dessa rede na simulação do escoamento na bacia para verificar a necessidade de fazer um levantamento mais amplo e detalhado dessa rede. Assim, fez-se uma análise preliminar da rede para se identificar o melhor local para levantamento da microdrenagem e posteriormente um cadastro das bocas-de-lobo das quadras selecionadas e determinação da rede.

Fez-se uma simulação do evento do dia 17 de janeiro de 2014 sem a representação da microdrenagem. Ao realizar a simulação observou-se a variação da simulação com e sem a microdrenagem e verificou-se que não houve influência desse sistema para a representação no modelo. Observa-se na Figura 82 a vazão no exutório da bacia não é alterada após a implementação da microdrenagem, o mesmo comportamento foi verificado a jusante da galeria 2, que indica que não houve alteração no mesmo local. Dessa forma, acredita-se que a inclusão da microdrenagem nas demais redes não deve alterar significativamente o resultado.



**Figura 82 Comparação da vazão observada apenas com a macrodrenagem e com a microdrenagem**

A área selecionada para avaliação da microdrenagem corresponde a 7% da área total da bacia, observa-se que a vazão no exutório da bacia não é alterada após a implementação da microdrenagem, o mesmo comportamento foi verificado a jusante da galeria 2, que indica que não houve alteração no local. Dessa forma, acredita-se que a inclusão da microdrenagem nas demais redes não deve alterar significativamente o resultado.

#### **6.4 SIMULAÇÕES DE QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO IATE CLUBE**

As simulações de qualidade foram feitas logo após as calibrações e verificações da vazão, e foram obtidos os resultados apresentados pelas Tabela 12 a 16. A Tabela 12 apresenta os resultados obtidos nas simulações para nitrato, nitrito e amônia, sendo que em geral o R<sup>2</sup>

apresentado foi de ótimo a satisfatório, indicando o bom desempenho da curva gerada pelo modelo, porém o NSE não foi bom, sendo que apenas o evento calibrado, em destaque nas tabelas, apresentou NSE satisfatório.

No que diz respeito a variável fósforo, apenas um evento apresentou o  $R^2$  insatisfatório, no entanto o NSE comportou-se da mesma forma apresentada pela série de nitrogênio, com valores negativos, indicando novamente a pouca representatividade do modelo em representar a concentração real do evento. Já para DQO, vê-se uma melhor aderência do modelo, apresentando NSE positivos.

Os eventos em destaque nas Tabela 12 a 16 indicam aqueles que foram utilizados para calibração. Tais eventos foram selecionados a partir da análise da coerência da curva teórica observada na literatura com o que se obteve em campo, ou seja, o evento em que as concentrações observadas se aproximaram ao comportamento visto na literatura.

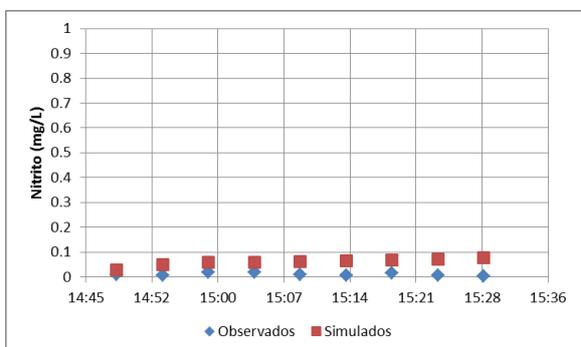
Provavelmente esse resultado é reforçado pelo comportamento característico da curva de DQO que apresenta uma queda característica conforme o evento evolui, o que nem sempre foi visto nas variáveis descritas anteriormente, apresentando uma estabilidade antes de um decaimento, ou uma constância durante todo o evento que não está ligado somente à vazão.

Os parâmetros de condutividade, turbidez e sólidos suspensos – sedimentos, conforme apresentado pela Tabela 14, mostrando em que 60% dos eventos verificados obtiveram-se  $R^2$  satisfatórios e apenas para os eventos calibrados verificou-se NSE satisfatório. A verificação do modelo para eventos observados não utilizados na calibração mostrou-se insatisfatória.

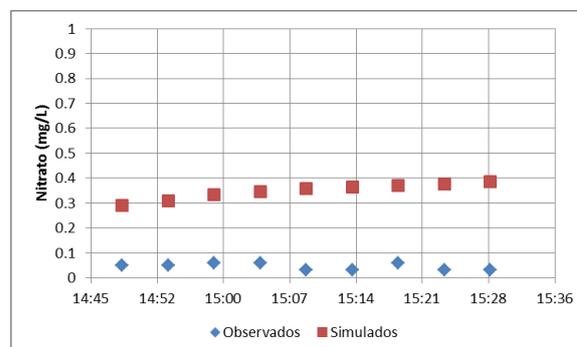
**Tabela 12 Resultado Simulação de qualidade d'água - série do nitrogênio**

Evento	NH3 -R <sup>2</sup>	NH3 -NSE	NO2 -R <sup>2</sup>	NO2 -NSE	NO3 -R <sup>2</sup>	NO3 -NSE
<b>12 Novembro</b>	0,89	0,48	0,7	0,37	0,8	-1,7
<b>30 Novembro</b>	0,67	-2,9	0,84	0,02	0,70	0,12
<b>02 Dezembro</b>	0,95	-0,19	0,90	0,37	0,61	0,00
<b>05 Dezembro</b>	0,81	-1,72	0,95	0,21	0,72	-0,12
<b>06 Dezembro</b>	0,60	-3,64	0,81	-0,07	0,71	0,18
<b>09 Dezembro</b>	0,66	-0,08	0,94	-0,23	0,88	0,45
<b>12 Dezembro</b>	0,36	-0,20	0,80	0,03	0,80	0,01
<b>17 Janeiro</b>	0,89	-5	0,72	-0,19	0,29	-0,00
<b>21 Janeiro</b>	0,34	-12	0,83	0,12	0,80	0,03
<b>22 Janeiro</b>	0,77	-0,92	0,79	-0,10	0,79	0,41

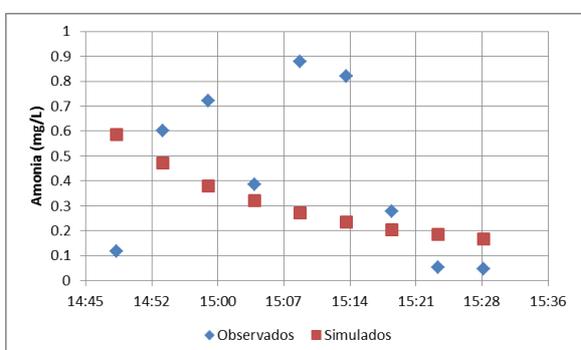
Os polutogramas apresentados da Figura 83 a 85 representam as concentrações dos poluentes observados e simulados no dia 30 de novembro, em que é possível observar a dificuldade em representar a variação de concentração dos dados observados.



**Figura 83 Polutograma (nitrito - mg/L) referente ao dia 30/11**



**Figura 84 Polutograma (nitrato - mg/L) referente ao dia 30/11**

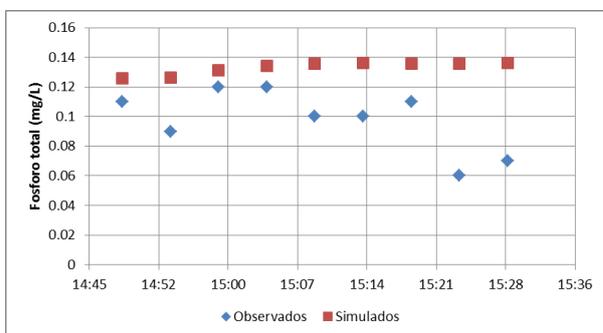


**Figura 85 Polutograma (amônia - mg/L) referente ao dia 30/11**

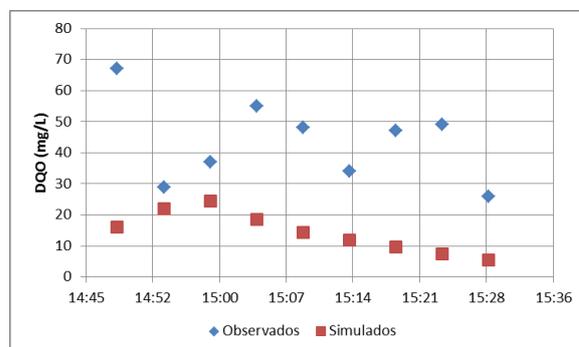
**Tabela 13 Resultado Simulação de qualidade d'água para fósforo e DQO.**

Evento	P -R <sup>2</sup>	P -NSE	DQO -R <sup>2</sup>	DQO -NSE
<b>12 Novembro</b>	0,92	-0,20	0,93	0,4
<b>30 Novembro</b>	0,78	-123	0,90	-0,29
<b>02 Dezembro</b>	0,40	-0,020	0,89	0,31
<b>05 Dezembro</b>	0,89	-1,91	0,98	0,13
<b>06 Dezembro</b>	0,8	-0,28	0,89	0,31
<b>09 Dezembro</b>	0,83	-617	0,91	-0,04
<b>12 Dezembro</b>	0,77	-0,02	0,78	0,34
<b>17 Janeiro</b>	0,97	0,00	0,95	0,90
<b>21 Janeiro</b>	0,93	-0,54	0,92	0,27
<b>22 Janeiro</b>	0,65	-0,55	0,89	0,07

As Figuras 86 e 87 representam as concentrações dos poluentes observados e simulados no dia 30 de novembro, em que é possível observar a dificuldade em representar a variação de concentração dos dados observados.



**Figura 86 Polutograma (fósforo - mg/L) referente ao dia 30/11**

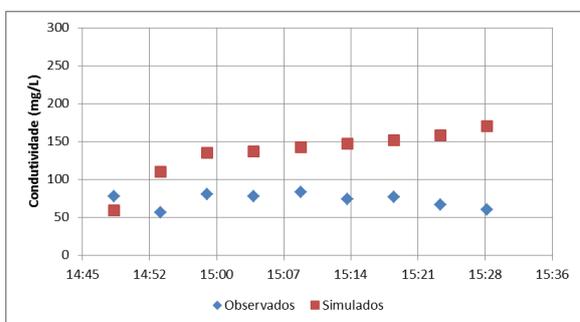


**Figura 87 Polutograma (DQO - mg/L) referente ao dia 30/11**

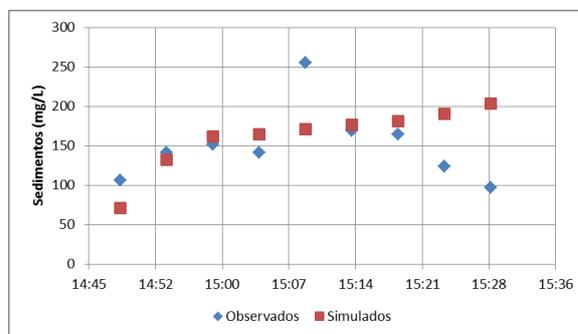
**Tabela 14 Resultado Simulação de qualidade d'água par Condutividade, Turbidez e Sedimentos.**

Evento	Condutividade -R <sup>2</sup>	Condutividade- NSE	Turbidez R <sup>2</sup>	Turbidez NSE	Sedimentos R <sup>2</sup>	Sedimentos NSE
12 Novembro	0,81	0,17	0,89	-0,15	0,87	-0,87
30 Novembro	0,86	0,23	0,75	0,19	0,71	0,25
02 Dezembro	0,47	0,05	0,34	0,00	0,29	-0,10
05 Dezembro	0,99	0,35	0,55	-0,12	0,64	0,14
06 Dezembro	0,92	0,25	0,90	0,31	0,84	0,37
09 Dezembro	0,97	0,41	0,91	0,1	0,81	0,05
12 Dezembro	0,97	0,20	0,82	0,03	0,72	0,28
17 Janeiro	0,83	0,13	0,96	0,53	0,98	0,77
21 Janeiro	0,85	0,22	0,76	0,14	0,71	0,11
22 Janeiro	0,56	0,01	0,67	-0,13	0,37	-0,07

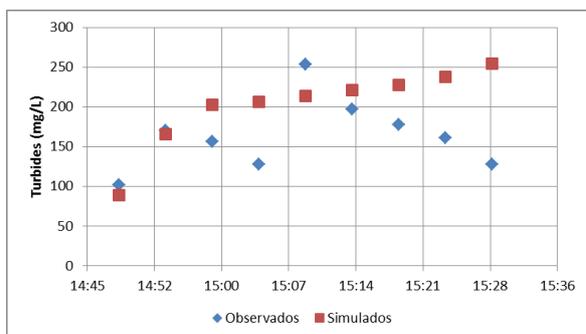
As figuras de 88 a 90 são apresentadas as concentrações de poluentes observadas e simuladas para condutividade, turbidez e sedimentos, referentes ao dia 30/11. É possível observar que as curvas de concentrações simuladas tendem a permanecer aumentando enquanto as observadas reduzem, podendo esse comportamento está associado à função de lavagem adotada.



**Figura 88 Polutograma (condutividade - mg/L) referente ao dia 30/11**



**Figura 89 Polutograma (Sedimentos - mg/L) referente ao dia 30/11**



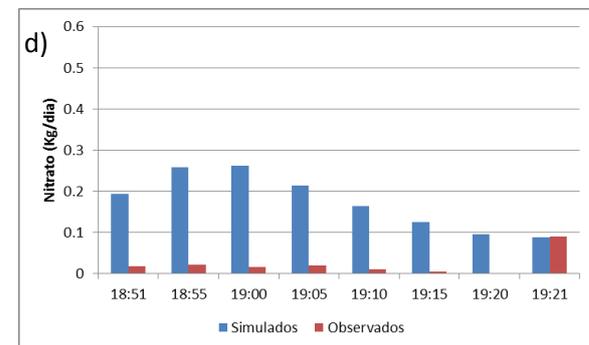
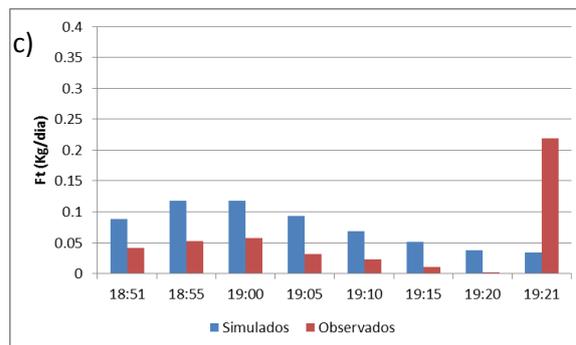
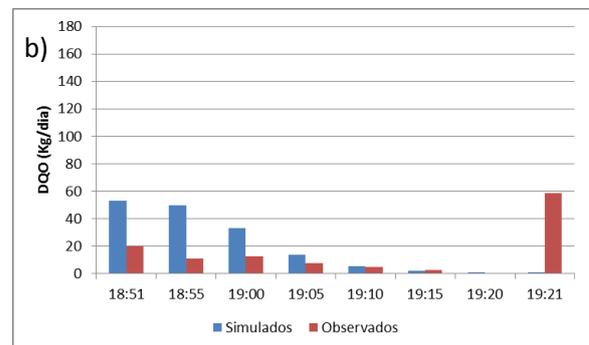
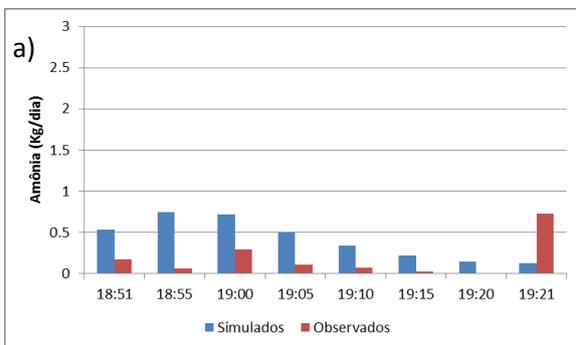
**Figura 90 Polutograma (Turbidez - mg/L) referente ao dia 30/11**

Fez-se uma análise das cargas simuladas e observadas dos dias 02/12/13, 05/12/13, 09/12/13 e 12/12/13 com a finalidade de comparar quantitativamente os resultados simulados. Figura 91 apresenta as cargas simuladas e observadas para o dia 02/12 das variáveis monitoradas, em que é possível verificar que a simulação superestima todas as variáveis. Porém, nota-se que a última amostragem apresentou um aumento da carga, que não foi previsto pelo modelo.

A Tabela 15 apresenta o total de cargas observadas dos poluentes lançadas no lago Paranoá e as cargas simuladas para um mesmo evento onde é possível perceber quantitativamente a magnitude do aumento de carga que o modelo prediz. A Figura 92 apresenta as cargas simuladas e observadas do dia 05/12, em que as cargas simuladas subestimam o que foi observado, principalmente para sedimentos.

**Tabela 15 Carga total observada e simulada do dia 02/12/13**

	NH3	DQO	Pt	NO3	NO2	SS
<b>Simulado (mg/l)</b>	3.34	159.20	0.61	1.40	0.15	361.07
<b>Observado (mg/l)</b>	0.73	58.40	0.22	0.09	0.02	97.13



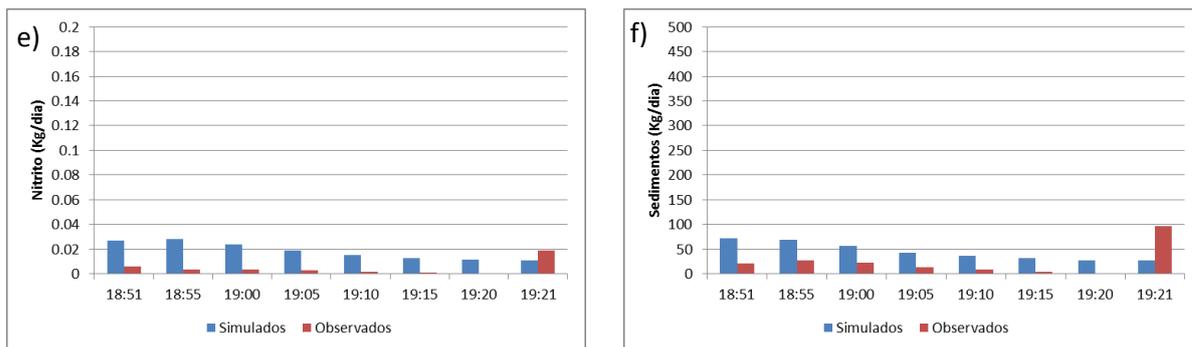
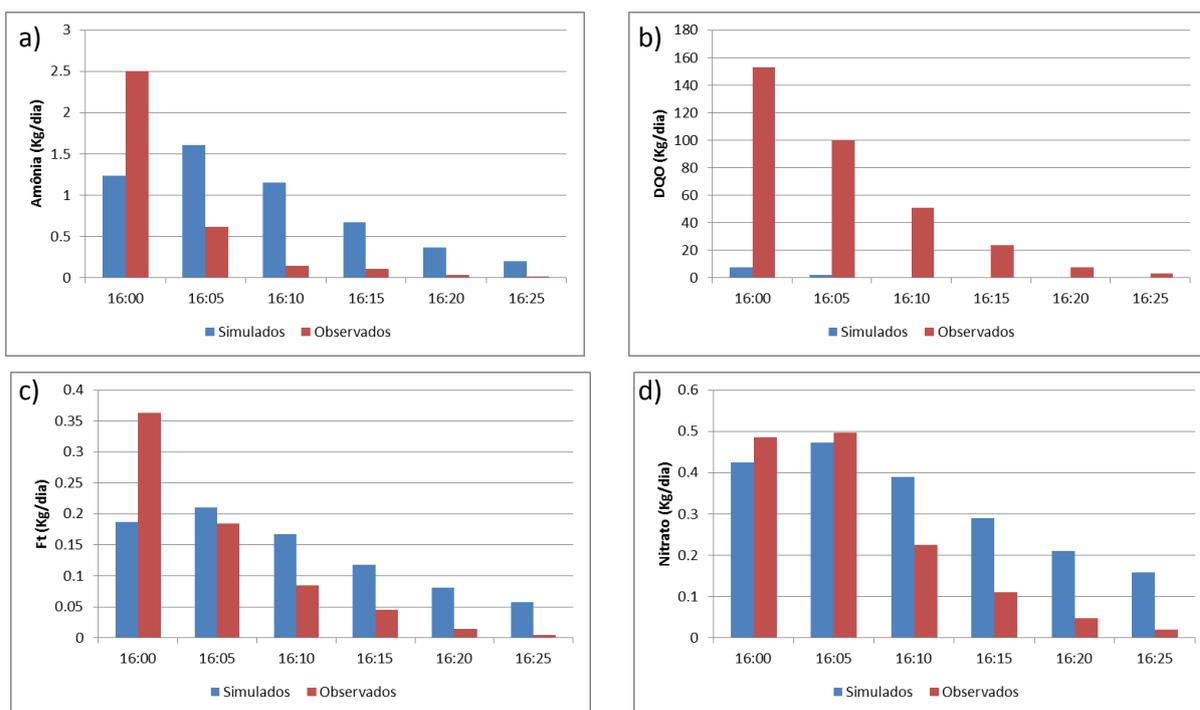


Figura 91 Carga observadas e simuladas de (a) amônia, (b) DQO, (c) Ft, (d) nitrato, (e) nitrito e (f) sedimentos do dia 02/12

A Tabela 16, que apresenta as cargas totais do evento, permite verificar que há algumas variáveis que de fato foram superestimadas, como amônia fósforo e nitrato. Esse fato se deve ao rápido decaimento das cargas observadas com o passar do evento, enquanto na simulação esse decaimento não é tão pronunciado, permitindo uma equiparação dessas cargas chegando a ultrapassar o que foi observado.

Tabela 16 Carga total observada e simulada do dia 05/12/13

	NH3	DQO	Pt	NO3	NO2	SS
<b>Simulado (mg/l)</b>	5.22	9.70	0.82	1.95	0.16	382.42
<b>Observado (mg/l)</b>	3.41	337.95	0.70	1.38	0.24	1140.68



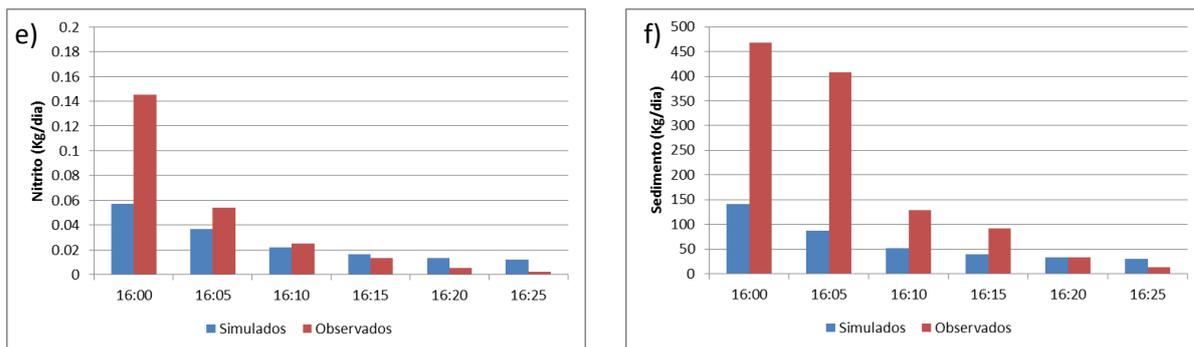


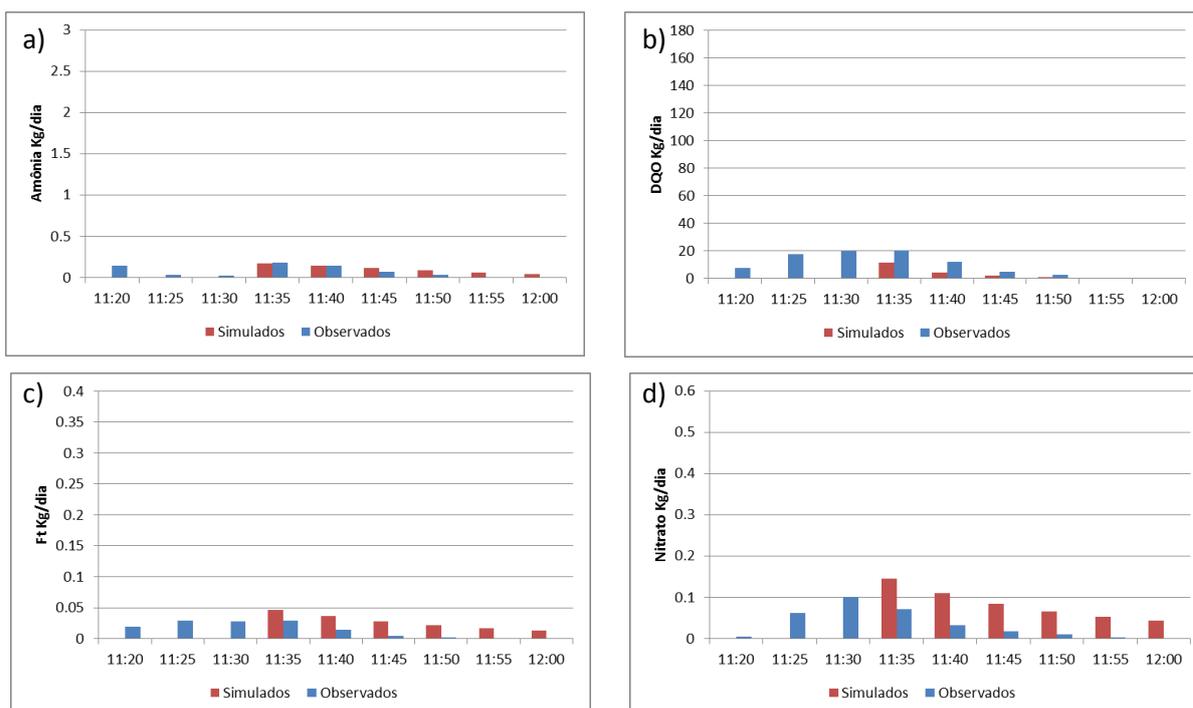
Figura 92 Carga observadas e simuladas de (a) amônia, (b) DQO, (c) Ft, (d) nitrato, (e) nitrito e (f) sedimentos do dia 05/12

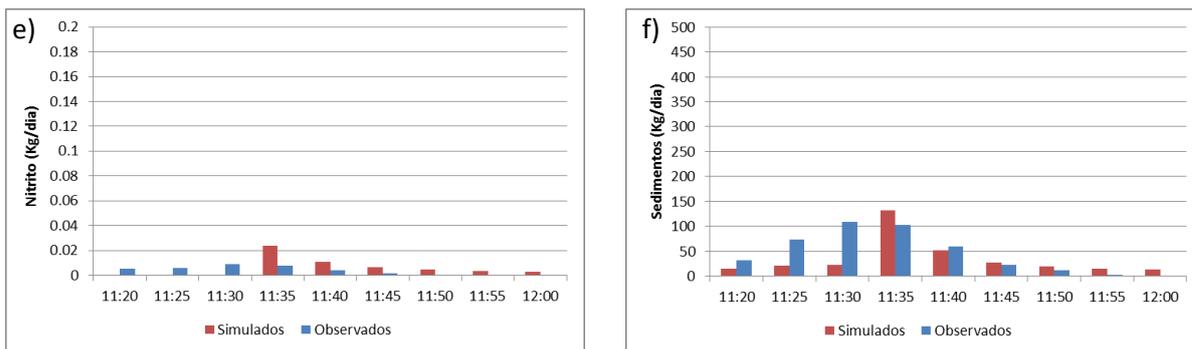
A Figura 93 apresenta as cargas simuladas e observadas do dia 09/12 onde é possível verificar que a simulação foi próxima ao observado, apesar de no começo do evento a carga simulada para nutrientes e matéria orgânica terem sido condizentes.

A Tabela 17 ratifica a proximidade dos valores observados e simulados, divergindo apenas para a DQO, que apresenta um valor abaixo do observado.

Tabela 17 Carga total observada e simulada do dia 09/12/13

	NH3	DQO	Pt	NO3	NO2	SS
<b>Simulado (mg/l)</b>	0.63	19.94	0.16	0.51	0.05	317.72
<b>Observado (mg/l)</b>	0.65	85.94	0.13	0.30	0.03	414.32



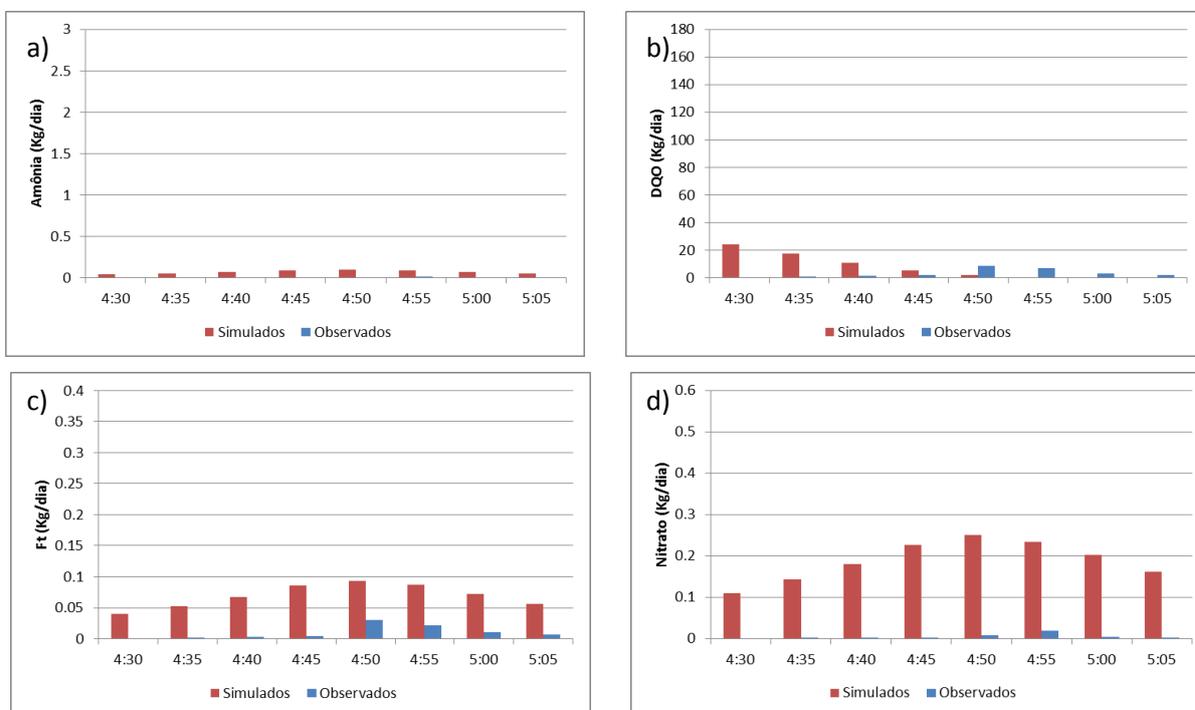


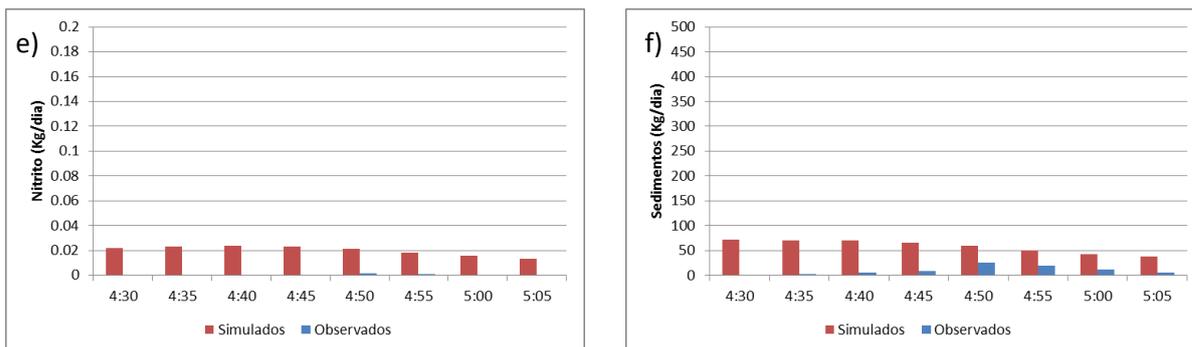
**Figura 93** Carga observadas e simuladas de (a) amônia, (b) DQO, (c) Ft, (d) nitrato, (e) nitrito e (f) sedimentos do dia 09/12

A Figura 94 apresenta as cargas simuladas e observadas do dia 12/12 em que é possível verificar que a simulação foi superestimada, comprovada pela Tabela 18 em que todos os dados simulados apresentam um valor bem superior ao observado.

**Tabela 18** Carga total observada e simulada do dia 12/12/13

	NH3	DQO	Pt	NO3	NO2	SS
<b>Simulado (mg/l)</b>	0.56	60.42	0.56	1.51	0.16	468.15
<b>Observado (mg/l)</b>	0.03	25.81	0.08	0.05	0.00	78.57





**Figura 94** Carga observadas e simuladas de (a) amônia, (b) DQO, (c) Ft, (d) nitrato, (e) nitrito e (f) sedimentos do dia 12/12

As cargas observadas por Costa (2013) foram mais baixas que as observadas durante o monitoramento em análise, em que para a bacia do CO as cargas medidas no ano de 2012-2013 correspondem a 8,7% das cargas medidas em 2013-2014 e para o Iate essa relação é de 18,3%. Observa-se que se manteve a tendência da bacia do Iate a apresentar cargas bem superiores a bacia do CO, sendo que para o ano de 2012-2013 as cargas da bacia do Iate superavam em 63% o CO e para 2013-2014 chegou a 23%.

Observa-se que não há uma tendência nítida nas relações entre cargas observadas e simuladas que hora são superestimadas e que hora são subestimadas, mostrando uma dificuldade do modelo em representar a carga de poluição difusa nessa bacia urbana. É possível associar essa dificuldade do modelo à própria característica das bacias urbanas que, em geral, apresentam peculiaridades muito variáveis entre si, que vão desde a ocupação do solo e formas de acúmulo de poluente ao tamanho da bacia e suas estruturas de drenagem.

Apesar da simulação de vazão ter sido considerada satisfatória, ao fazer as simulações para qualidade, a diferença dos dados medidos e calibrados referentes às variáveis de qualidade da água, utilizado na simulação de qualidade, afeta a carga de poluente gerada pelo modelo, influenciando na eficiência da simulação.

## 6.5 SIMULAÇÃO DAS BACIAS DE DETENÇÃO

Foram realizadas simulações das 13 alternativas de implantação de bacias de detenção descritas na Tabela 3, página 64. Os resultados estão apresentados divididos entre as simulações de qualidade da água efluente dos reservatórios e quantificação da vazão.

Com a locação das bacias foram realizadas simulações utilizando os eventos propostos na Tabela 6, a fim de verificar o efeito sobre a redução do pico de vazão na rede quanto no exutório e a redução da poluição difusa através das variáveis de qualidade estudadas.

#### 6.5.1 Impacto das Bacias de Detenção no regime de vazões.

Conforme o disposto no item 5.2.8 sobre as alternativas de modelagem das bacias de retenção, que descreve as alternativas propostas para locação das bacias de retenção, bem como as chuvas utilizadas para sua avaliação, fez-se uma análise dos impactos causados por essas bacias no regime de vazões da bacia hidrográfica em estudo. A Tabela 19 apresenta o volume e altura máxima de cada bacia de retenção avaliada.

**Tabela 19 Características das bacias de retenção instaladas na bacia, segundo as alternativas.**

Alternativas	Volume (m <sup>3</sup> )	Altura (m)
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 13	79.079,52	6
9, 10, 11	39.539,76	5
12	26.359,84	5

Nota-se que, apesar de não haver uma medida de relação de picos por causa de descargas desconhecidas no trajeto da rede de drenagem, é importante analisar a descarga nas galerias e também realizar o dimensionamento para verificar o efeito das bacias distribuídas ao longo da rede, visto que no DF tem-se adotado a prática de instalação de bacias no final da rede, às margens dos rios, em geral em áreas de matas ciliares. O efeito das bacias distribuídas visa contribuir com entendimento dos efeitos dessas alternativas.

A partir dos resultados gerados com a implementação das bacias de retenção, foi possível observar que as alternativas que inserem bacias a montante das galerias têm influência menor na rede de drenagem ou no pico de cheia que chega ao lago Paranoá, uma vez que a área de contribuição é menor que a área referente às bacias mais a jusante.

Para as alternativas que consideram as bacias a jusante de cada galeria nota-se uma regulação na vazão dessas galerias, mas sem muita alteração na galeria exutória. Apenas com as alternativas combinadas, pode-se notar uma melhora completa do sistema, com regulação da

vazão nas galerias e atenuação do pico no exutório, já que a inserção da galeria na galeria exutória não regula a vazão na rede de drenagem.

O dimensionamento inicialmente proposto para as bacias é superior ao necessário para a região, uma vez que o projeto original indicado pelo GDF prevê a construção de uma bacia de retenção única ao final da rede de drenagem, o que requer um volume maior que o demandado para as bacias propostas para as alternativas propostas.

Tendo em vista a necessidade de reservar os volumes excedentes de água gerados, a fim de minimizando os danos causados pelas inundações e riscos à população, percebe-se, em uma avaliação mais aprofundada, de cada proposta de implantação das bacias de detenção que as alternativas 1, 5 e 7 são as menos efetivas no sistema. Confirmou-se que o dimensionamento inicial é superior ao necessário, indicando a possibilidade de redução das áreas de construção das bacias, podendo ser adotadas medidas mais pontuais e de menor impacto para atingir a melhoria indicada ao implantar as bacias propostas.

A alternativa 3, apesar de ser a montante da galeria 2, apresenta uma redução de pico superior às citadas, pois encontra-se na região que drena as sub-bacias de contribuição do Estádio Nacional e adjacentes.

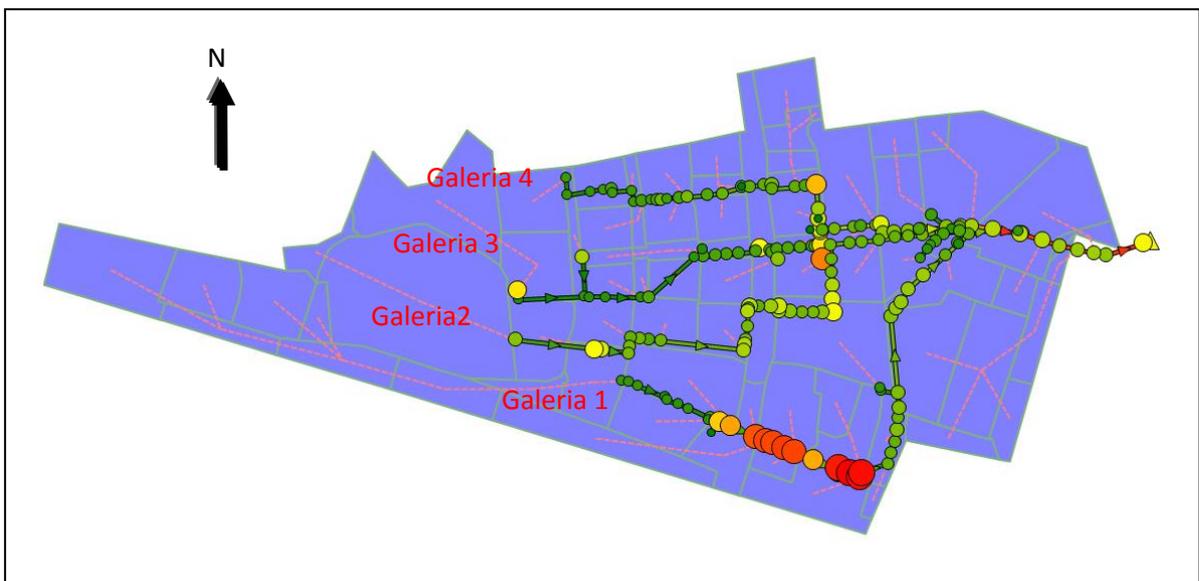
As alternativas 2, 4, 6 e 8 que representam as bacias únicas a jusante de cada galeria apresentaram reduções superiores as de montante, uma vez que captam maior contribuição do escoamento da bacia, sendo que a alternativa 2 se destacou reduzindo cerca de 10m<sup>3</sup>/s a vazão de pico. Já as alternativas com bacias combinadas em duas ou mais bacias são as que apresentaram melhores resultados, sendo que as alternativas 9 e 12 apresentaram as melhores reduções de pico exatamente por inserirem uma bacia a jusante da galeria 1, sendo a alternativa que mais se destacou ao se implementar as bacias únicas.

Essas reduções de pico a jusante da bacia não são essenciais em uma análise de forma isolada, uma vez que o lago Paranoá é capaz de amortecer tais ondas de cheia provenientes da bacia, porém tais bacias de detenção permitem reduzir a pressão no sistema de drenagem urbana, reduzindo os pontos de alagamento nas sub-bacias de contribuição.

A Figura 95 mostra a rede e seus componentes da atual bacia do Iate após a simulação utilizando a Chuva 1 – especificada na Tabela 6, onde é possível verificar vários pontos de pressão na rede, principalmente na galeria 1, em que as junções dos condutos ficam afogadas.

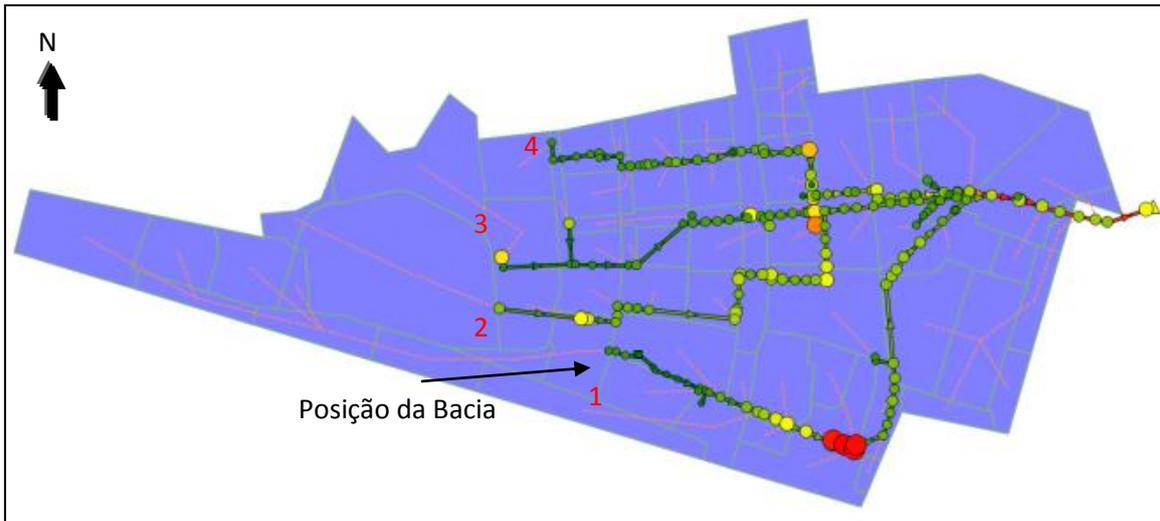
A fim de entender melhor as figuras que se seguem, referentes ao comportamento da rede de drenagem, observe que as junções podem representar um estado de:

-  Afogamento
-  Afogamento parcial
-  Funcionamento limitante
-  Funcionamento adequado
-  Indicação da localização da bacia

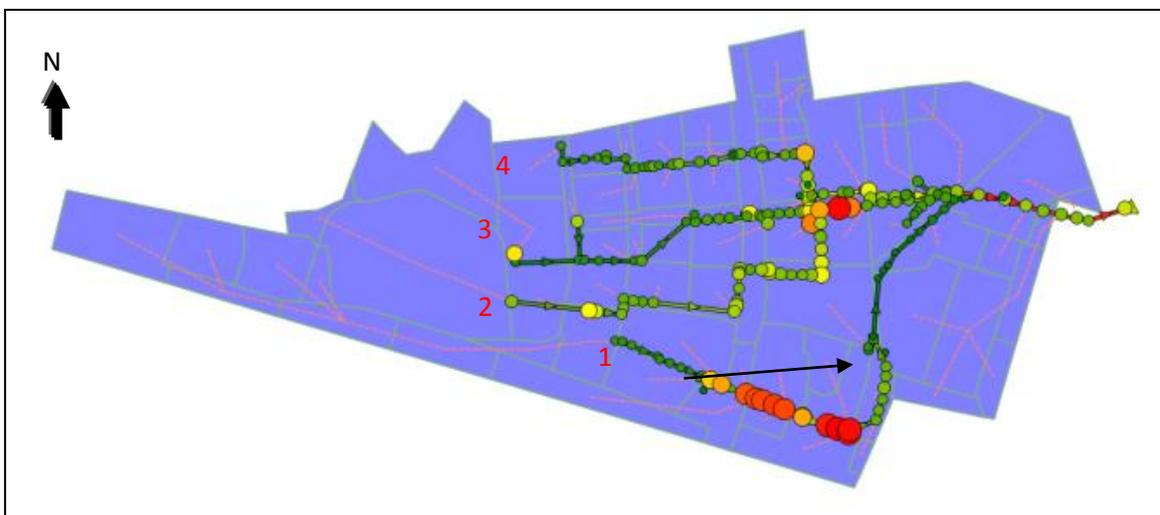


**Figura 95 Rede sem bacia de detenção**

A Figura 96 e a Figura 97 ilustram a redução de alguns pontos de pressão na galeria 1 com a implantação da bacia de detenção a montante dessa galeria, utilizando a mesma chuva de projeto – Chuva 1. No entanto, não é uma atenuação ao longo de toda a galeria, mesmo com a bacia instalada pode-se observar pontos de pressão da rede dessa galeria, indicando que as sub-bacias de contribuição que estão próximas a esse ponto exerce muita influência na galeria.



**Figura 96 Comportamento da rede com a implantação da alternativa 1**

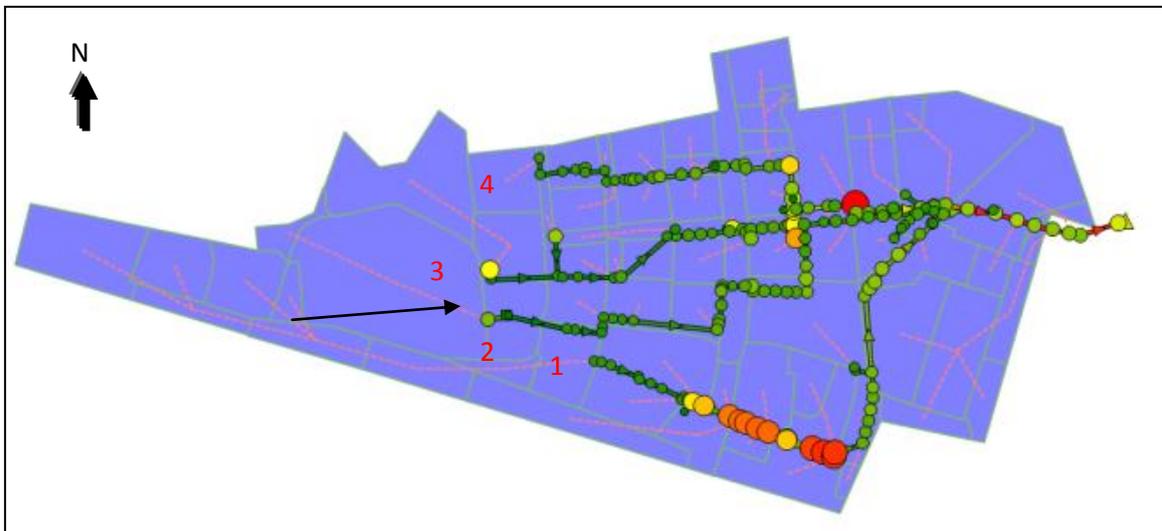


**Figura 97 Comportamento da rede com a implantação da alternativa 2.**

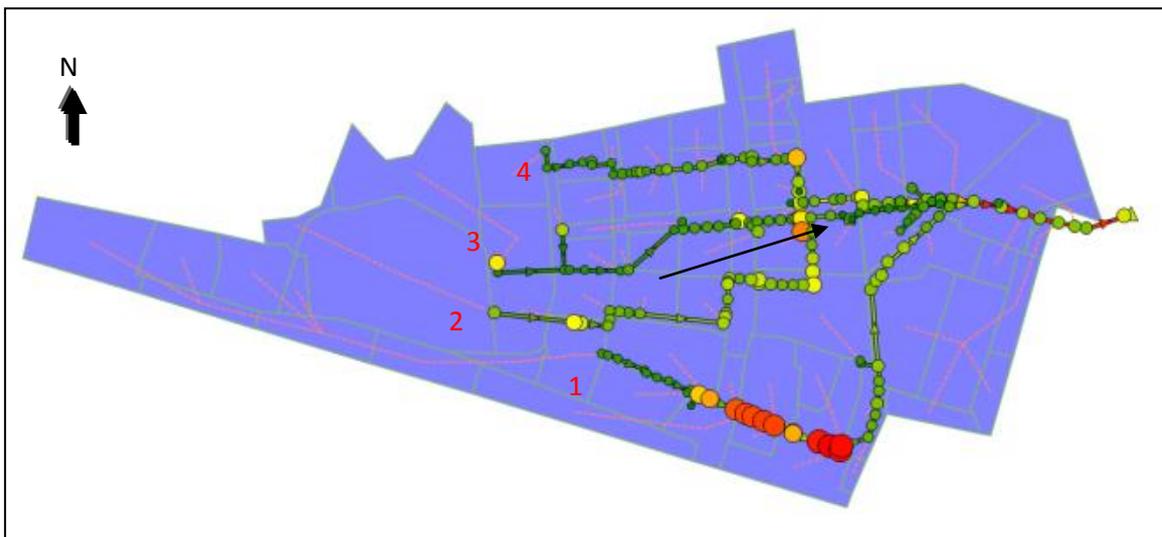
As sub-bacias de contribuição próximas aos pontos em vermelho na galeria 1, Figura 96, são caracterizadas por terem uma grande parcela de área impermeável, como o Setor de Autarquias Norte com um aglomerado de prédios públicos, a rodoviária e o Setor de Diversões Norte, além de uma área descampada que está bastante compactada, pois é muitas vezes usada como estacionamento na ocasião de eventos na Esplanada dos Ministérios.

A Figura 97 mostra o comportamento da rede após a instalação da bacia de retenção a jusante da galeria 1 impactando a rede que segue após sua implantação, resultando também em uma redução na vazão no exutório da bacia ainda pouco percebida na imagem. Porém a rede antes da bacia de retenção apresenta os mesmos pontos críticos observados quando não há qualquer alteração na Macrogaleria.

A Figura 98 apresenta a rede resultante da implantação da alternativa 3, em que é possível verificar a atenuação dos pontos de pressão na galeria sem pontos em amarelo ou vermelho, apenas verde, indicando baixas vazões na rede.



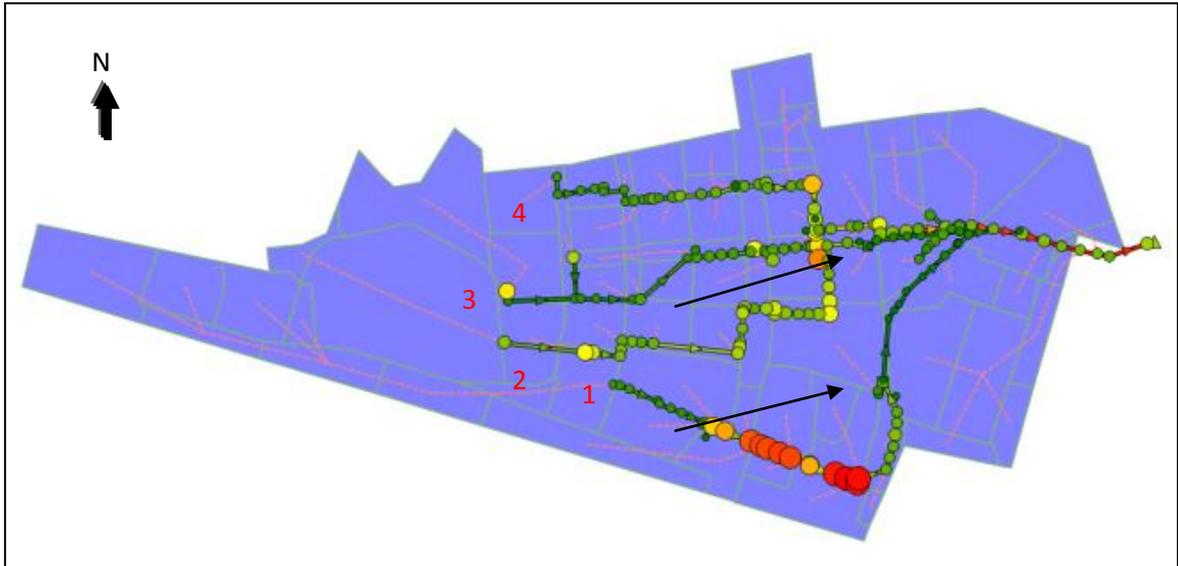
**Figura 98 Comportamento da rede com a implantação alternativa 3.**



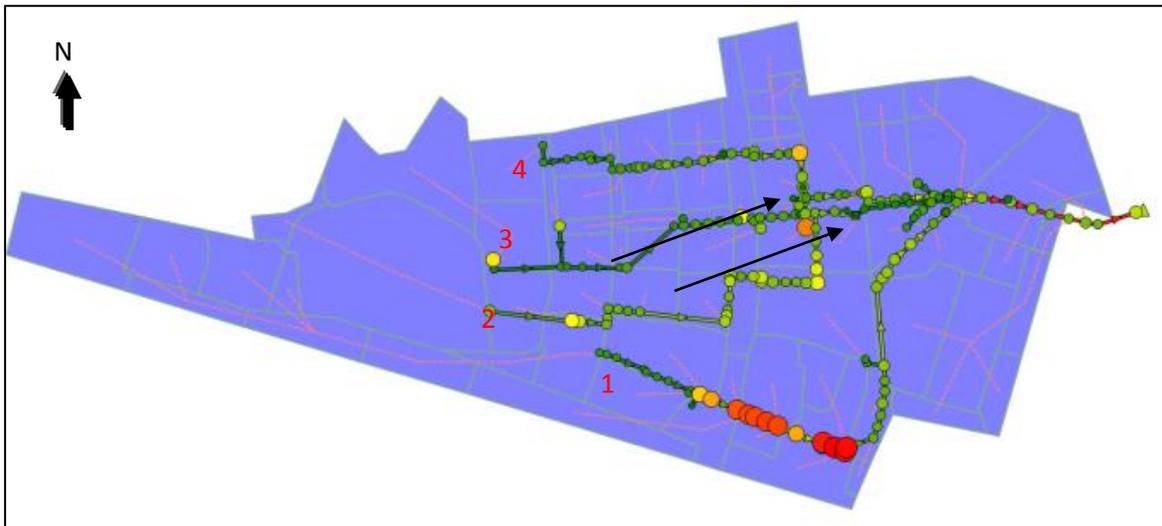
**Figura 99 Comportamento da rede com a implantação alternativa 4.**

A Figura 99 apresenta a rede resultante da implantação da alternativa 4, em que é possível verificar a atenuação dos pontos de pressão na galeria sem pontos em amarelo ou vermelho, apenas verde na rede após sua localização, indicando baixas vazões na rede.

A Figura 100 apresenta a rede resultante da implantação da alternativa 9, com bacias na galeria 1 e 2, em que é possível verificar a atenuação dos pontos de pressão na galeria após a bacia, que já eram baixas.

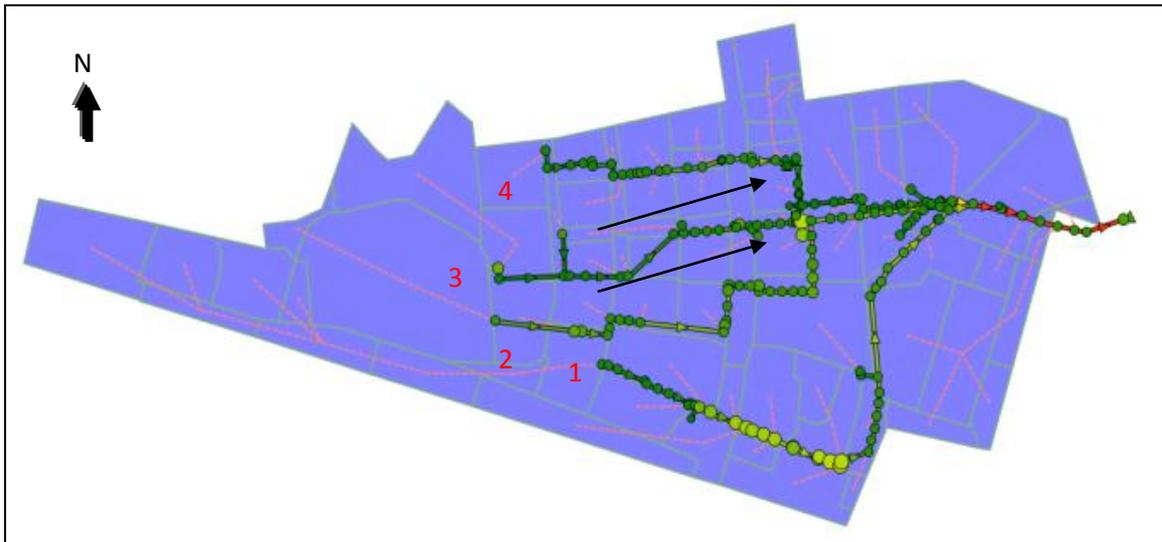


**Figura 100** Comportamento da rede com a implantação alternativa 9

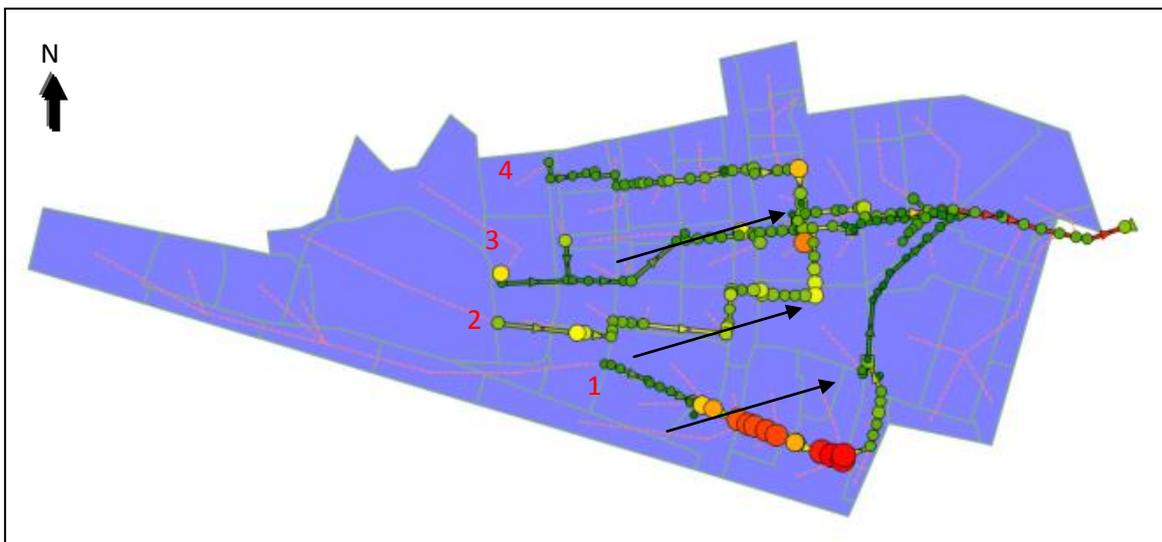


**Figura 101** Comportamento da rede com a implantação alternativa 10

A Figura 101 apresenta a resposta da rede na após a implantação das bacias na galeria 2 e 3e  
 Figura 102, nas galerias 3 e 4 em que verifica-se o comportamento combinado das alternativas  
 4 e 6 para alternativa 10 e 6 e 8 para alternativa 11.



**Figura 102 Comportamento da rede com a implantação Alternativa 11**



**Figura 103 Comportamento da rede com a implantação alternativa 12.**

As alternativas 12 e 13 (Figura 103 e Figura 104) foram as que apresentaram melhor desempenho, sendo que a 13 foi a que mais se destacou, porém essa alternativa não tem efeito sobre a rede a montante, sendo apenas um atenuante para o corpo hídrico receptor, que por se tratar de um lago da proporção do lago Paranoá tem efeitos pouco significativos para a onda de cheia gerada pela bacia urbana em estudo. A alternativa 12 também apresenta pouca influência na rede a montante da bacia, porém reduz o pico de escoamento em 3 galerias que provoca uma atenuação também na galeria exutória.

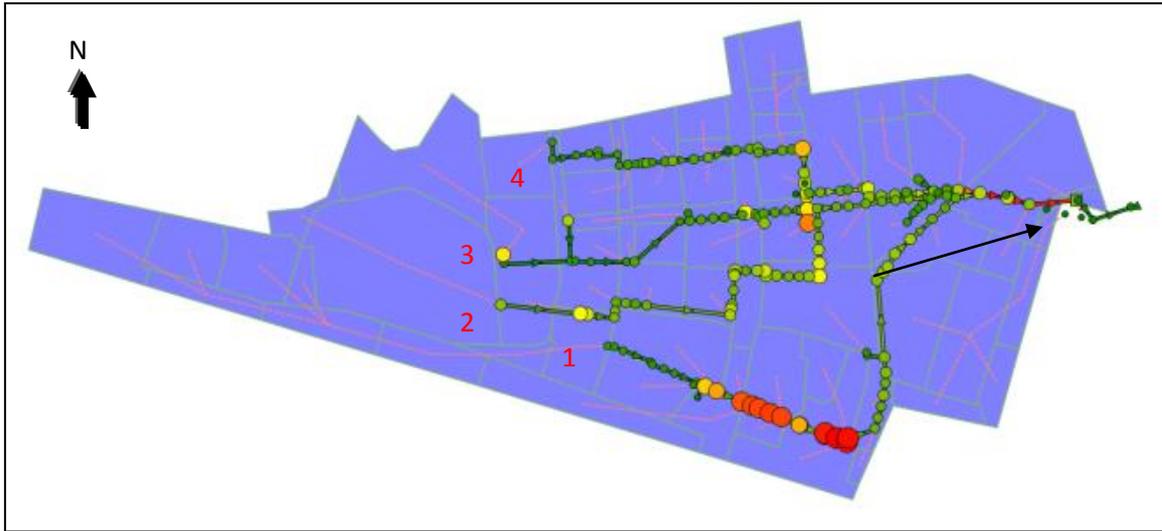


Figura 104 Comportamento da rede com a implantação alternativa 13.

Da Figura 105 à 99 é mostrado, em resumo, o comportamento da rede sem bacia e da rede com as alternativas 9, 12 e 13 para cada evento proposto, essas alternativas foram escolhidas por apresentarem os melhores resultados em redução do escoamento na galeria exutória. As diferenças entre as demais alternativas baseiam-se essencialmente na magnitude da vazão de pico, sendo que apenas a alternativa 13 apresenta a maior redução de pico, porém todas as alternativas apresentam comportamentos similares.

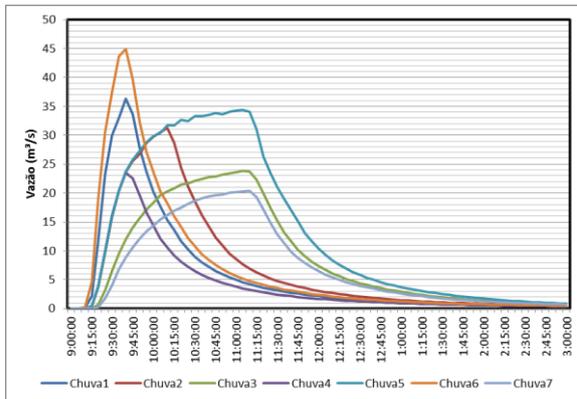


Figura 105 Vazão para alternativa sem Bacia

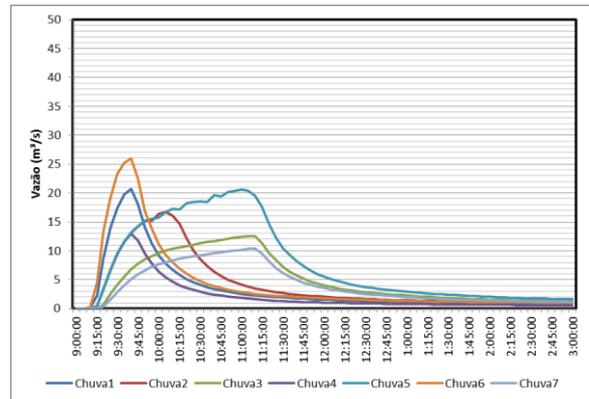


Figura 106 Vazão para alternativa 9

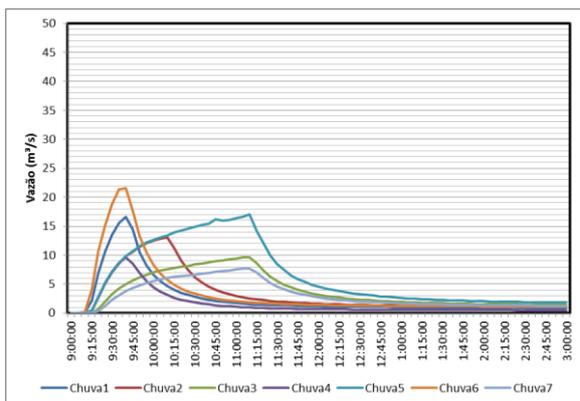


Figura 107 Vazão para alternativa 12

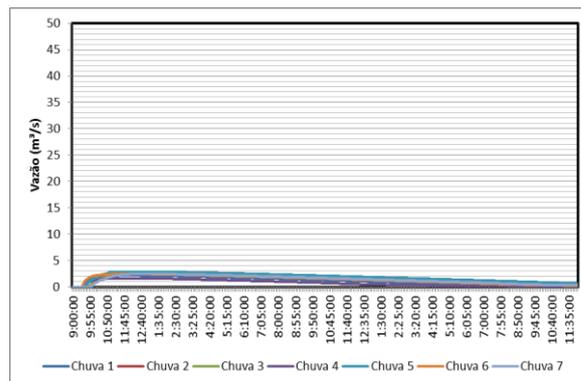


Figura 108 Vazão para alternativa 13

A Figura 109 apresenta os resultados das alternativas para a chuva1 onde é possível observar que as alternativas 1, 5 e 7 apresentaram reduções mínimas de pico de cheia sendo menores que 2%. Entre as alternativas que compreenderam apenas uma bacia instalada a alternativa 2 foi a que se destacou com 27% de redução. Entre as alternativas que combinam mais de uma bacia a alternativa 9 e 12 foram as que se destacaram com reduções de pico de 43% e 54 % respectivamente. Porém, destaca-se o comportamento da alternativa13 com redução superior a 90% da vazão do pico de cheia.

As demais chuvas propostas seguiram o mesmo comportamento da chuva1, sendo que as principais diferenças estão relacionadas ao tempo de pico, tempo de concentração, tempo de ascensão, tempo de base, tempo de recessão, que são caracterizados pela duração e intensidade da chuva, variando também a vazão de pico, que pode ser percebido ao comparar a Figura 109, Chuva 1, e Figura 110, Chuva 5.

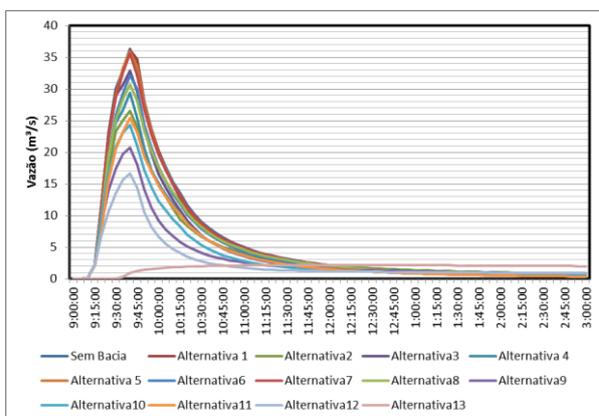


Figura 109 Vazão gerada para Chuva 1

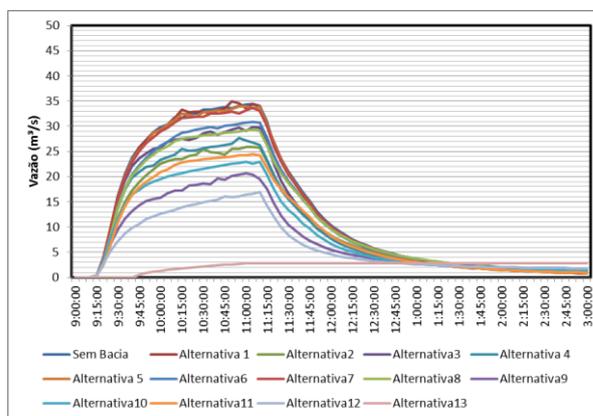


Figura 110 Vazão gerada para Chuva 5

A Tabela 20 o percentual de redução da vazão de pico para cada alternativa avaliada. As alternativas 1, 3, 5 e 7; localizadas mais a montante das galerias tiveram pouco efeito no escoamento final a jusante da bacia, porém contribuíram na melhoria da rede de drenagem ao reduzir a influência no sistema de drenagem localmente. Nessas bacias a altura máxima atingida no reservatório foi de 0,6m, correspondendo a um volume de 13503,5m<sup>3</sup>.

A montante dessas bacias existe uma área de contribuição que representa 30% da bacia o que justifica a pouca contribuição do escoamento, reduzindo o volume que chega e é armazenado na bacia de detenção, assim, seria desnecessário considerar a montante das galerias o dimensionamento utilizado.

A resposta do escoamento ao final da bacia foi maior para as alternativas 2, 4, 6 e 8; localizadas mais a jusante das galerias, com reduções entre 10% e 30 % da vazão de pico. Contudo ainda que essas alternativas recebam aportes de um percentual maior de bacias de contribuição, o reservatório continuou superdimensionado, tendo em vista que o volume máximo alcançado foi de 19.500m<sup>3</sup>.

As alternativas que permitiram uma combinação na implementação das bacias de detenção foram as que melhor apresentaram redução no pico à jusante da bacia, entre 29% e 62%. Além disso, o seu volume é reduzido em 50% ou 60%.

A alternativa 13, que considerava apenas uma bacia de detenção próxima ao exutório da bacia, foi a que apresentou as maiores reduções da vazão de pico, entre 88% a 94%, sendo que seu dimensionamento foi ajustado à chuva de projeto, tendo em vista que chegou próximo do seu limite, porém em momento algum houve transbordamento.

**Tabela 20 Percentual de redução de vazão de pico.**

<b>Alternativas</b>	<b>Chuva1</b>	<b>Chuva2</b>	<b>Chuva3</b>	<b>Chuva4</b>	<b>Chuva5</b>	<b>Chuva6</b>	<b>Chuva7</b>
<b>1</b>	-0.5	3.2	0.0	-2.3	1.3	-0.6	-1.7
<b>2</b>	-27.0	-26.7	-23.7	-27.9	-24.6	-29.0	-26.4
<b>3</b>	-9.4	-14.3	-16.2	-7.1	-13.3	-9.9	-14.8
<b>4</b>	-19.2	-23.2	-22.7	-17.2	-19.5	-23.0	-21.1
<b>5</b>	-1.3	-1.7	-1.9	-2.2	-1.4	-2.3	-1.9
<b>6</b>	-11.5	-12.4	-11.6	-14.2	-10.3	-10.8	-12.0
<b>7</b>	-2.0	-3.5	-2.7	-3.6	-2.1	0.9	-2.5
<b>8</b>	-15.4	-15.3	-13.3	-14.8	-14.8	-15.9	-12.6
<b>9</b>	-43.1	-46.4	-47.4	-44.9	-40.1	-42.3	-49.1
<b>10</b>	-33.1	-36.3	-35.6	-31.2	-33.1	-33.6	-35.0

<b>11</b>	-30.1	-30.1	-27.9	-31.6	-29.0	-29.3	-27.4
<b>12</b>	-54.3	-58.2	-59.6	-58.9	-50.6	-52.0	-62.1
<b>13</b>	-94.1	-92.3	-88.6	-93.1	-91.7	-94.6	-88.0

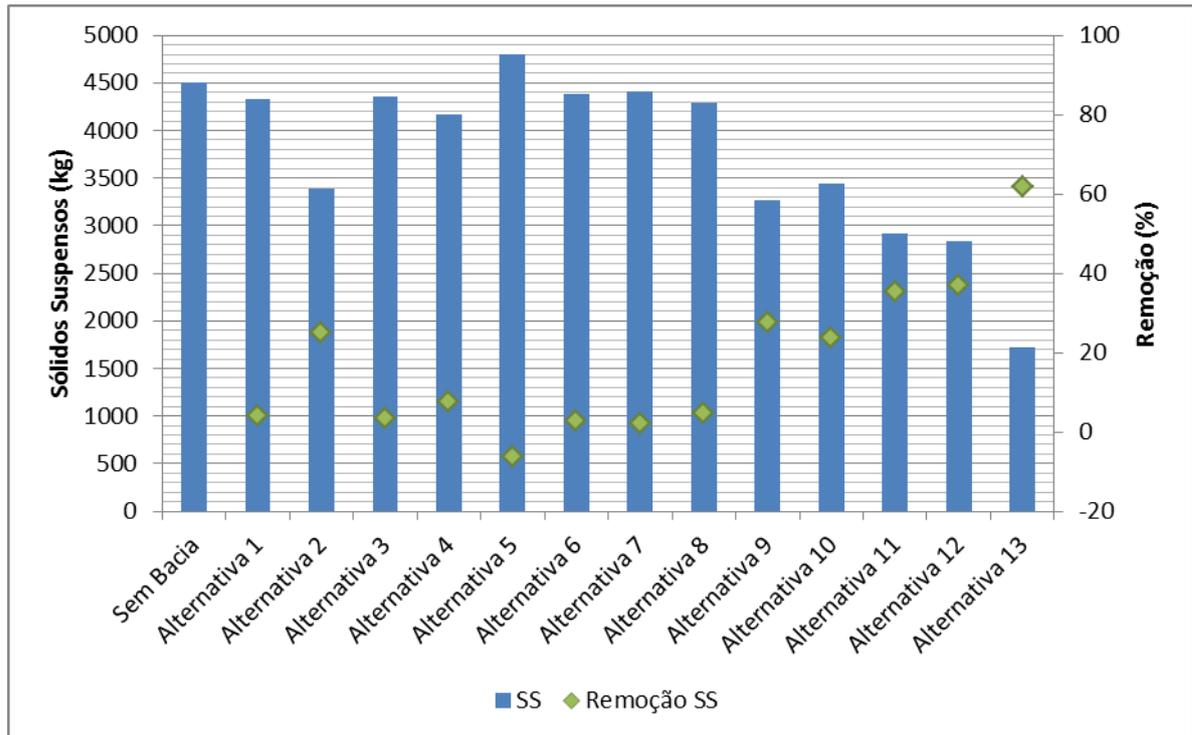
### 6.5.2 Efeito das Bacias de Detenção na qualidade da água.

As bacias de detenção modeladas, além de promover a regularização de vazões, podem permitir também o controle de poluentes, A eficiência de remoção deste tipo de técnica está associada não só ao tamanho da bacia em relação à bacia hidrográfica, como também às características da bacia de coleta.

A Figura 111 apresenta a redução percentual das cargas de SS simuladas obtidas para cada alternativa de implementação das bacias. A Figura 112 apresenta a remoção de nitrogênio nas formas de amônia, nitrito e nitrato, a Figura 113, de fósforo total e a Figura 114, a remoção de matéria orgânica. Observa-se que a também para as simulações de qualidade foi utilizada a Chuva 1 – especificada na Tabela 6,

Observa-se que o comportamento é basicamente o mesmo observado para vazão, sendo que para sólidos a melhor alternativa reduziu 62%, em nutrientes entre 40% e 60% e DQO 46%, confirmando assim a adequação do sistema aos meios urbanos, com escoamentos variáveis.

A alternativa 2 que considera a bacia a jusante da galeria 1, apresenta reduções similares as alternativas 10 e 11, que consideram bacias combinadas nas galerias 2, 3 e 4, bem como a alternativa 9 e 12, confirmando que a galeria 1 é aquela que mais está influenciando o sistema de drenagem e que deve ser considerada primordialmente ao se implantar qualquer técnica compensatória na bacia de estudo.



**Figura 111** Carga de SS pelo seu percentual de remoção.

Percebe-se que apesar da questão das vazões de pico, que são definidas com volumes reduzidos no dimensionamento das bacias, na questão de qualidade do escoamento, a bacia com maior dimensionamento (alternativa 13) foi a que apresentou melhor resultado, uma vez que ela detém por maior tempo, chegando a um tempo de detenção de sete horas, o escoamento permitindo amplificar a melhoria da qualidade da água efluente.

As bacias combinadas, alternativas 9, 10, 11 e 12, também promoveram reduções das cargas dos poluentes significativas, apesar de seu tamanho mais reduzido, não houve transbordamento, considerando assim que todo o escoamento passou pelo processo de redução de cargas de poluentes.

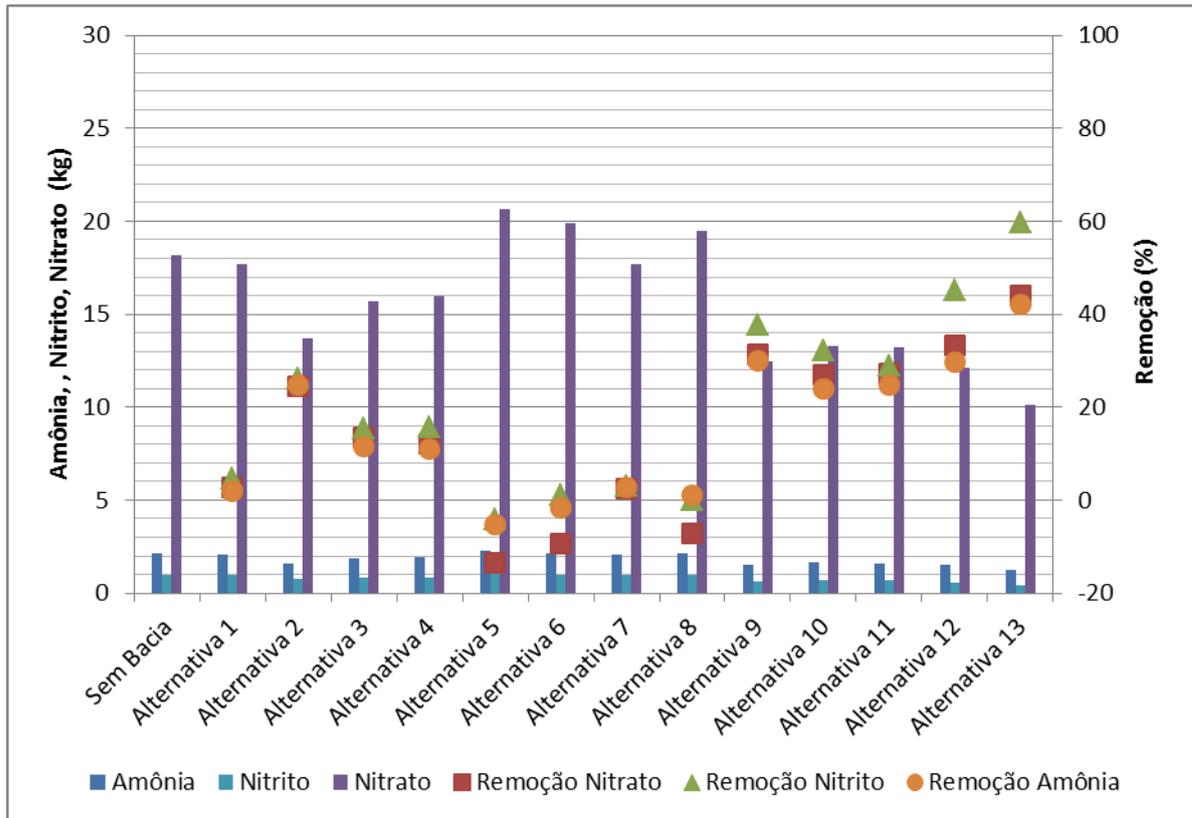


Figura 112 Carga de nitrogênio pelo seu percentual de remoção.

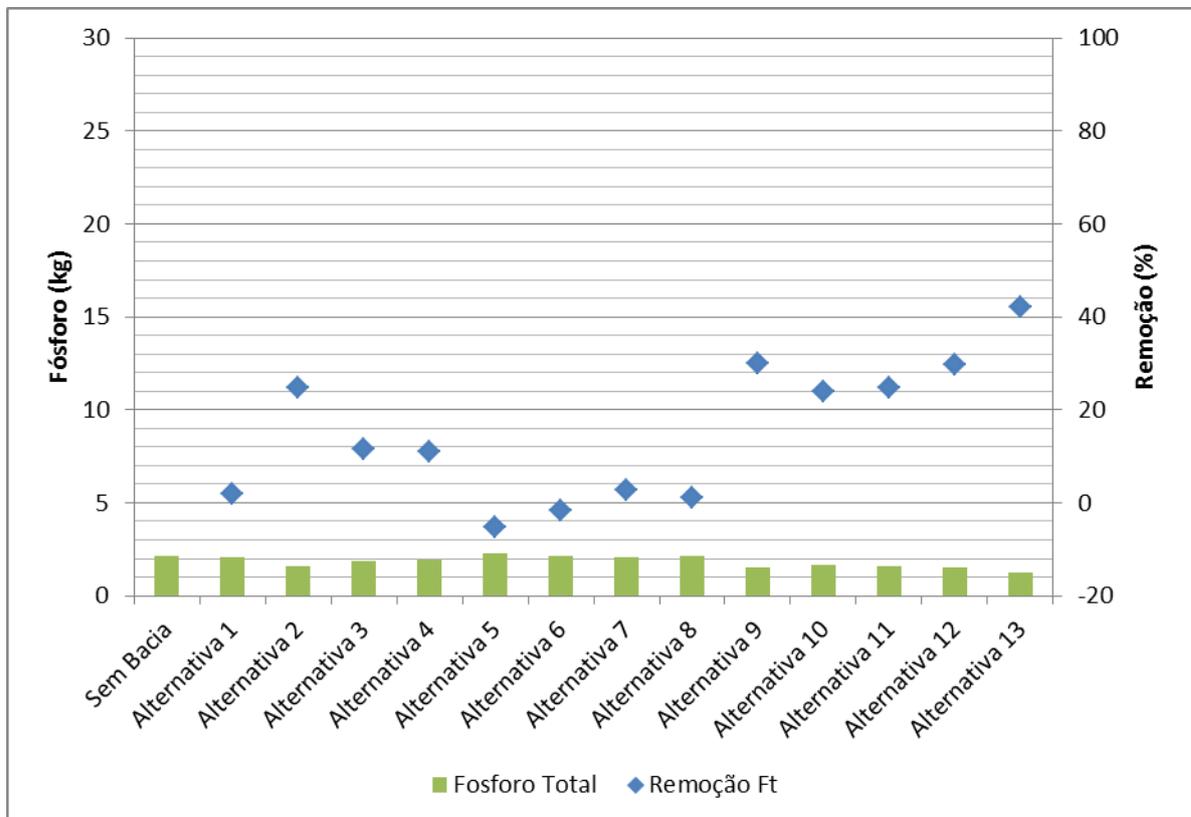


Figura 113 Carga de fósforo pelo seu percentual de remoção

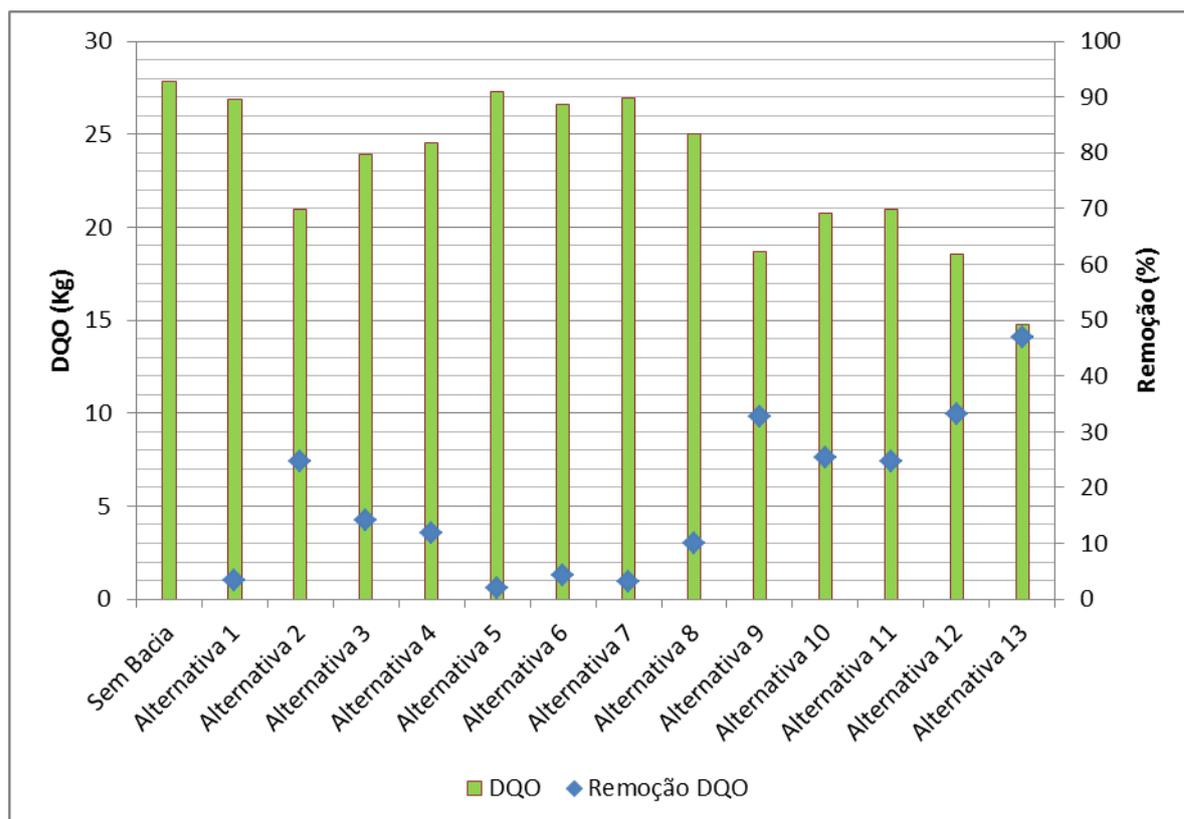


Figura 114 Carga de DQO pelo seu percentual de remoção

Ao comparar o percentual de remoção de cada variável em cada alternativa observa-se que a alternativa que atinge a remoção típica em bacias de detenção, conforme Schueler (1997), apresentado na Tabela 21, foi apenas a alternativa 13.

Tabela 21 Remoção típica em bacias de detenção (Schueler (1997))

Parâmetros	% de remoção típica
Sólidos suspensos	61
Nitrogênio	31
Fósforo	19
Metais	26-54

## 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho teve como objetivo monitorar a quantidade e qualidade das águas de drenagem urbana das sub-bacias urbanas do Iate Clube e do Centro Olímpico e simular para a sub-bacia do Iate Clube os processos hidrológicos e de poluição difusa, além de analisar cenários de implantação de bacias de retenção.

O levantamento da curva-chave na sub-bacia do Iate Clube permitiu verificar a validade de trabalhos anteriores feitos nessa bacia que utilizaram a curva-chave teórica para escoamento crítico na determinação da vazão, uma vez que a curva-chave levantada experimentalmente se mostrou muito próxima a essa curva-chave teórica.

Observou-se que o ano hidrológico de 2013-2014 foi menos chuvoso e com eventos menos intensos, quando comparado ao ano hidrológico anterior.

A quantificação das cargas de poluentes de origem difusa lançadas no lago Paranoá por meio da rede de drenagem pluvial da sub-bacia do Iate Clube foi realizada entre os meses de outubro de 2013 e janeiro de 2014. A carga total medida no período foi inferior à medida no período de 2012/2013 por Costa (2013), apesar das concentrações médias dos eventos terem sido superiores. É possível que esse comportamento se deva às características dos eventos, que foram menos frequentes e menos intensos que no ano anterior.

Comparando as duas bacias, verificou-se que a carga total de sedimentos monitorados em 2013-2014 para a bacia do Iate Clube foi 22,4% superior à carga da bacia do CO. A bacia do Iate recebeu diversas obras civis no período de 2011 a 2014, em função da realização da Copa do Mundo de Futebol. Essa tendência já havia sido observada por Costa (2013) que registrou uma carga 63% maior para o Iate Clube. Esses resultados mostram a importância do controle da produção de sedimentos nos canteiros de obras.

A correlação existente entre as variáveis de turbidez e sólidos suspensos apresentou um  $R^2$  de 0,69 e 0,54 para o Iate Clube e CO, respectivamente, o que indica uma possibilidade de monitoramento dos sólidos de forma indireta uma vez que permitiria uma previsão aproximada de cargas em suspensão pelo monitoramento da turbidez, principalmente quando houver a impossibilidade de medição direta de cargas de sedimentos.

O estudo realizado com a modelagem matemática utilizando o SWMM e PCSWMM permitiu avaliar a resposta da sub-bacia do Iate Clube tanto em termos de vazão quanto em qualidade da água.

A rede de microdrenagem foi levantada em campo em duas quadras, englobando áreas comerciais e residências da bacia, para avaliar qual a influência desse sistema na simulação. A inclusão da rede de microdrenagem teve pouca influência nos resultados.

As análises dos resultados da modelagem de qualidade da água da bacia foram menos satisfatórias que as de vazão, tendo em vista que, apesar do coeficiente de correlação ter sido aceitável para grande parte das variáveis de qualidade analisadas, o mesmo não ocorreu com o NSE, uma vez que o comportamento das variáveis seguiu o mesmo padrão, no entanto deslocado em termos de valores de concentração.

Na modelagem das 13 alternativas de bacias de retenção observou-se que as bacias localizadas mais a montante das galerias tiveram pouco efeito no escoamento final à jusante da bacia, porém contribuíram na melhoria da rede de drenagem ao reduzir a influência no sistema de drenagem localmente. Observou-se também que elas teriam uma mesma eficiência se reduzisse seu tamanho em 70% do tamanho original, uma vez que sua capacidade de armazenamento estava superdimensionada.

Nas bacias de retenção implantadas mais a jusante das galerias, a resposta no escoamento final da bacia foi mais significativa, com reduções entre 10% e 30% do pico do escoamento, sendo possível também a redução em seu dimensionamento em 20%, uma vez que não atingiu seu máximo mesmo na chuva de projeto mais intensa, com TR superior a 100 anos.

A implementação de bacias pode ser uma alternativa para desafogar a rede de drenagem que apresenta vários pontos que estão funcionando em seu limite de capacidade. As alternativas que consideraram uma combinação na implementação das bacias de retenção foram as que melhor apresentaram redução no pico à jusante da bacia, entre 29% e 62%.

Verificou-se também que elas podem ser implementadas com volumes bem menores que as alternativas iniciais adotadas. Contudo, a alternativa que considerava apenas uma bacia de retenção próxima ao exutório da bacia foi a melhor alternativa com reduções de pico de 88% a 94%, sendo que esta é a referência em termos de volume de bacias de retenção proposta no projeto originalmente apresentado pela NOVACAP.

Nas análises feitas para avaliar a eficiência de remoção dos poluentes considerando as alternativas de implementação das bacias de detenção, observou-se que o comportamento é basicamente o mesmo observado para vazão, sendo que para sólidos a melhor alternativa reduziu 62%, para nutrientes, entre 40% e 60%, e para DQO 46%, similar ao apresentado na literatura quanto à eficiência de remoção desse tipo de técnica.

## **7.1 RECOMENDAÇÕES**

Recomenda-se para próximos trabalhos uma adequação das equações do modelo de qualidade da água que não levou a bons resultados. É importante avaliar a implantação combinada de LID para incrementar a redução de vazão no sistema e de poluentes que chegam ao lago Paranoá, com menores custos e evitando impactos pontuais de grande magnitude dentro da bacia, considerando que no Plano Piloto há espaço para adoção de tais medidas.

É importante incluir a utilização de chuvas de projeto com distribuição temporal para verificar seu efeito sobre a eficiência das alternativas de locação das bacias de detenção, uma vez que este trabalho utilizou chuvas constantes.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADASA– Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal, (2013). Disponível em: < <http://www.adasa.df.gov.br/>>. Acesso em 10 de abril de 2013.
- AKAN, A. O., (2010) *Design Aid for Water Quality Detention Basins*. Journal of Hydrologic Engineering. ASCE, Janeiro 2010
- ALLEY, W.M.; SMITH, P.E., (1982a). *Distributed Routing Rainfall-Runoff Model: Version II*. US Geological Survey, Geological Survey Open File Report 82-344.
- ALLEY, W.M.; SMITH, P.E., (1982b). *Multi-Event Urban Runoff Quality Model*. US Geological Survey, Open File Report 82-764, Reston, Virginia.
- APRIGIO, P.O. (2012) Avaliação de Modelos de Simulação de Cargas Difusas em Bacias Urbanas. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2012.
- ARRUDA, L.; QUELHAS, O. L. Sustentabilidade: Um Longo Processo Histórico de Reavaliação Crítica da Relação Existente entre a Sociedade e o Meio Ambiente. B. Téc. Senac: R. Educ. Prof., Rio de Janeiro, v. 36, n.3, set./dez. 2010.
- BACH, P. M., McCarthy, D. T., & Deletic, A. (2010). *Redefining the stormwater first flush phenomenon*. Water research, 44(8), 2487-2498.
- BALL, J. (2001) *Parameter Estimation for Urban Storm water Models. Urban Drainage Modeling*: pp. 713-721. doi: 10.1061/40583(275)67
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; Barraud, S. (2005). Técnicas compensatórias em drenagem urbana. 1 ed. Porto Alegre: ABRH, 2005.
- BETTES, R., PITFIELD, R.A., PRICE, R.K., (1978). *A surcharging model for storm sewer systems*. In: Halliwell, P.R. (Ed.), *Urban Storm Drainage*. Pentech Press, London, 1978, pp. 306–316.
- BICKNELL, B.R., IMHOFF, J.C., KITTLE, J.L., DONIGAN, A.S. and JOHANSON, R.C., (1993). *Hydrologic Simulation Program: FORTRAN User's Manual for Release 10*. US Environmental Protection Agency, Athens, Georgia, Report EPA/600/R-93/174.
- BLICK, Sandra A., et al. (2004). *New Jersey storm water best management practices manual*. New Jersey Department of Environmental Protection, Division of Watershed Management, Trenton, NJ, 2004.
- BRAGA, B. et. al., (2005). Introdução à Engenharia Ambiental. São. Paulo: Prentice Hall - 2ª edição. 2005

- BRASIL- Ministério das Cidades, (2005). Gestão de águas pluviais urbanas. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília. *Global Water Partnership – World Bank*, 2005
- BRASIL, (2007). Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, Brasília.
- BROWN, L.C.; BARNWELL, T.O., (1987). *The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2e-UNCAS: Documentation and User's Manual*. US Environmental Protection Agency, Athens, Georgia, Report EPA/600/3-87/007.
- BRUTSAERT, W., (2010). *Hydrology an Introduction*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- CAMPANA, N. A., & BERNARDES, R. S. (2010) Qualidade do escoamento na rede de drenagem pluvial urbana: a situação de Brasília-DF. ABRH.
- CAMPBELL, C. W.; SULLIVAN, S. M., (2002). *Simulating time-varying cave flow and water levels using the Storm Water Management Model*. Engineering Geology 65. 2002. p.133–139
- CARVALHO, N. O., (2008). Hidrossedimentologia prática. 2 ed. Rio de Janeiro. 2008.
- CHOI, K; BALL, J. E., (2002). *Parameter estimation for urban run off modeling*. Urban Water 4. Elsevier, 2002. p. 31–41
- CLEVERLAND, T. G.; LUONG, T.; THOMPSON , D. B., (2009). *Water Subdivision for Modeling*. World Environmental and Water Resources Congress.
- COLLODEL, M. G. (2009). Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- COLON, R., MCMAHON, G.F., (1987). *BRASS model: application to Savannah River system reservoirs*. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE 113 (2), 177–190.
- COSTA, L. B., & Alves, A. D. M. (2011). Contaminação de água por resíduos sólidos: uma perspectiva geomorfológica nos municípios de Dr. Severiano e Encanto-RN. Revista Geotemas, 1(1), 79-90.
- COSTA, M.E.L (2013). Monitoramento e modelagem das águas da drenagem urbana na bacia do lago Paranoá. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-148/2013, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- COTTON, G.K., (2012). High Resolution Urban Hydrologic Modeling World Environmental and Water Resources Congress, 2012.

- DUCHESNE, M., MATTOS, P., FONTENELLE, L. F., VEIGA, H., Rizo, L., APPOLINARIO, J. C. (2004). Neuropsychology of eating disorders: a systematic review of the literature. *Revista brasileira de psiquiatria*, 26(2), 107-117.
- FCTH - Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica., (2013). Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município De São Paulo. Prefeitura do Município de > acessado em: 05 de maio de 2013.
- FERRANTE, J. E. T.; RANCAN, L.; BARBOSA NETTO, P. Meio físico. In: Fonseca, F. O., (2001). Olhares sobre o lago Paranoá. Brasília, DF: GDF/SEMARH, 2001
- FERRIRA, A.N.P; ARAÚJO, N., (2012) Os comitês de bacias hidrográficas e os conflitos pelo uso da água no distrito federal. Disponível em: < <http://www.cendoc.nepo.unicamp.br/>>. Acesso em 18 de dezembro de 2012
- FRAGOSO, M. M. A., (2007). Estudo Hidrológico e de Transporte de Sedimento em uma Bacia do Bioma Cerrado: Bacia do Córrego Capão Comprido/Distrito Federal. 2007. 102f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal. 2007.
- GARCIA, J. B., (2005). Monitoramento hidrológico e modelagem urbana da bacia hidrográfica do Arroio Cancela. Dissertação (Mestrado Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/RS.
- GASTALDINI, M. C. C.; SILVA, A. R. V., (2013). *Pollutant Distribution on Urban Surfaces: Case Study in Southern Brazil*. *Journal of Environmental Engineering*. ASCE.
- GDF - Governo do Distrito Federal, Secretaria de Estado de Obras, (2008). Assessoramento e apoio técnico na preparação e para início de implementação do programa Água do DF - Faixa 1 e 2 - Projeto básico da galeria de reforço e da bacia de retenção - Vol. 2/5 - Levantamento Cadastral - tomo 1 /2.Relatório Técnico. Brasília, 2008
- GDF - Governo do Distrito Federal, Secretaria de Estado de Obras, (2009). Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal. Volume 5. Brasília, 2009
- GIRONÁS, G; ROESNER, L.A.; Davis, J., (2009). *Storm Water Management Model Applications Manual*. U.S. Environmental Protection Agency.
- GOMES, H. P. (coordenador), (2012). Manual Do Usuário EPASWMM 5.0 - Modelo de Gestão de Drenagem Urbana. Universidade Federal da Paraíba - UFPB. João Pessoa, 2012
- GOMES, V.M., (2005). Aspectos relativos à concentração média do evento – CME de poluentes encontrados em água de drenagem pluvial em área urbana. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa.

- GREEN, C. H.; GRIENSVEN, A. V. (2008) *Autocalibration in hydrologic modeling: Using SWAT2005 in small-scale watersheds*. Environmental Modelling and Software, v. 23, p. 422-434
- GREEN, W. Heber, AMPT, G. A; (1911). *Studies on soil physics, 1.The flow of air and water through soils*. J. Agric. Sci 4.1 (1911): 1-24.
- GUPTA, V. K.; SOROOSHIAN, S, (2008). *Toward improved calibration of hydrologic models: Multiple and non-commensurable measures of information*. Water Resources Research, Vol. 34, No.4, p. 751-763, abril, 1998.
- HATHAWAY, J. M., TUCKER, R. S., SPOONER, J. M., HUNT, W. F. (2012). *A traditional analysis of the first flush effect for nutrients in stormwater runoff from two small urban catchments*. Water, Air, & Soil Pollution, 223(9), 5903-5915.
- HETEM, I. G., (2014). *Quantificação da contribuição veicular para as concentrações atmosféricas de material particulado fino e black arbon*, Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.
- HORTON, RE, (1933). *The role of infiltration in the hydrologic cycle*. Transactions, American Geophysical Union, 1933
- HUBER, W.C. and DICKINSON, R.E., (1988). *Storm Water Management Model, Version 4, User's Manual*.US Environmental Protection Agency, Athens, Georgia. Report EPA/600/3-88-001a.
- HUBER, W.C., HEANEY, J.P, Nix, S.J., DICKINSON, R.E. and POLMANN, D.J., (1984). *Storm Water Management Model, User's Manual, Version III*. US Environmental Protection Agency, Athens, Georgia. Report EPA/600/2-84-109a.
- Hydrologic Engineering Center, (1977). *Storage, Treatment, Overflow, Runoff Model, STORM, Generalised Computer Program 723-58-L7520*. Hydrologic Engineering Center, US Corps of Engineers, Davis, California.
- Hydrologic Engineering Center, (1986). *HEC-5Q Simulation of Flood Control and Conservation Systems: Appendix on Water Quality Analysis*. Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers, Report CPD-5Q.
- IBGE (2013) – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 06 de maio de 2013.
- INMET (2013) – Instituto Nacional de Meteorologia. *Base de dados climáticos*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>> Acesso em 1 de março de 2013.
- ISTENIČ, D., ARIAS, C. A., *et. al.*, (2012). *Improved urban stormwater treatment and pollutant removal pathways in amended wet detention ponds*. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 47(10), 1466-1477.

- JAMES, W.; Huber, W. C.; DICKINSON, R. E.; PITT, R. E.; JAMES, W. R. C.; ROSENER, L. A.; Aldrich, J. A, (2003). *User's Guide to SWMM*. Guelph: CHI, Ontario, Canada. 2003.
- JOHANSON, R.C., IMHOFF, J.C. and Davis, H.H., (1984). *User's Manual for Hydrological Simulation Program: FORTRAN. HSPF: User's Manual Release 8.0*. US Environmental Protection Agency, Athens, Georgia. Report EPA/600/3-84-066.
- JOHANSON, R.C.; IMHOFF, J.C.; DANA, H., (1980). *User's Manual for Hydrological Simulation Program — Fortran (HSPF)*. US Environmental Protection Agency. Report EPA/9-80-015, Athens Georgia.
- JONES, J. ANTHONY A., (1997). *Global hydrology: processes, resources and environmental management*. Prentice Hall.
- LARENTIS, D. G., COLLISCHONN, W., TUCCI , C. E. M., (2008). Simulação da Qualidade de Água em Grandes Bacias: Rio Taquari-Antas, RS. Revista Brasileira de Recursos Hídricos / Associação Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)- Vol.13, n.3; Porto Alegre/RS: ABRH, 2008
- MACHADO, R. E., (2002). Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. 2002 154f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo. 2002.
- MAIDMENT, D. R., (1992). *Handbook of Hydrology*. Editor in Chief. Professor of Civil Engineering. University of Texas at Austin. McGRAW-HILL, INC. New York.
- MCMAHON, G.F., FITZGERALD, R., MCCARTHY, B., (1984). *BRASS model: practical aspects*. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE 110 (1), 75–89.
- MEISEN, M. N., BOHN, N., TAVARES, L. B. B., & PINHEIRO, A. (2011). Análise de correlação da ocorrência de doenças diarreicas agudas (DDA) com a qualidade da água para consumo humano no município de pouso redondo–SC. Revista de Estudos Ambientais, 13(2), 57-67.
- MONTENEGRO, I.R., (2011). Análise de Sistemas de Drenagem Urbana no Plano Piloto. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2011 118 p.
- NASH, J. E.; J. V. SUTCLIFFE, (1970): *River flow forecasting through conceptual models. Part I—A discussion of principles*. Journal of Hydrology., 10, 282–290.
- NOVACAP Companhia urbanizadora da nova capital do Brasil, (2013). Disponível em <<http://www.novacap.df.gov.br>>, 2013.
- NOVOTNY e CHESTERS (1981). *Handbook of Nonpoint Pollution: Sources and Management Van Nostrand Reinhold*, New York, 1981.

- NYDEC – New York Dept. of Environmental Conservation, (2002). *New York State storm water management design manual*, Center for Watershed Protection, Ellicott City, Md.
- PIVELI, R. P.; KATO, M.T., (2006). Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos. São Paulo; ABES.
- PMPA - Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Departamento de Esgotos Pluviais, (2005). Plano Diretor De Drenagem Urbana Manual De Drenagem Urbana. v. 4, Instituto de Pesquisas Hidráulicas Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2005
- POLETO, C; MERTEN, G. H., (2007). *Urban street pollutants*. In: International Conference on Diffuse Pollution, 11 th ., 2007, Belo Horizonte.
- PORTO, M.F.A. (1995). Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: Tucci, C.E.M.; Porto, R.L.; Barros, M.T.de (organizadores). *Drenagem Urbana*. ABRH. Porto Alegre-RS.
- PRICE, R.K., (1978). *Design of storm sewers for minimum construction costs*. In: Halliwell, P.R. (Ed.), *International Conference on Urban Storm Drainage*. Pentech Press, London, 1978. pp. 636–647.
- PRICE, R.K., KIDD, C.H.R., (1978). *A design and simulation method for storm sewers*. In: Halliwell, P.R. (Ed.), *International Conference on Urban Storm Drainage*. Pentech Press, London, 1978. pp. 327–337.
- REATTO, Adriana et al., (2004). Mapa pedológico digital: SIG atualizado do Distrito Federal escala 1: 100.000 e uma síntese do texto explicativo. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.
- REFSGAARD, J. C., (1997). *Parameterisation, calibration and validation of distributed hydrological models*. *Journal of Hydrology* 198 69–97
- REIS, I. D. S., (2009). Construção de Biobarreiras em Zonas Urbanas para Controlo da Poluição por Águas Pluviais. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente - Ramo Gestão) Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto. Porto, Portugal.
- RIGHETTO, A. M.; MOREIRA, L. F. F.; SALES, T. E. A. (2009). Manejo de águas pluviais urbanas. In: Righetto, A. M. *Manejo de águas pluviais urbanas*. Rio de Janeiro: ABES.
- ROESNER, L.A., ALDRICH, J.A. and DICKINSON, R.E., (1988). *Storm Water Management Model, User's Manual, Version 4: Addendum I*, EXTRAN. US Environmental Protection Agency, Athens, Georgia, 1988. Report EPA/600/3-88-001b.
- ROSSMAN, L. A. *Storm water management model users' manual version 5.0*. Rep. No. EPA/600/R-05/040, U.S. Environmental Protection Agency, Water Supply and Water Resources Div., National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati. 2010

- SANTHI, C.; ARNOLD, J.G.; WILLIAMS, J.R.; DUGAS, W.A.; SRINIVASAN, R.; HAUCK, L.M. *Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources*. Journal of the American Water Resources Association. Vol.37, n. 5, 2001.
- SCHUELER, T. (1997). Influence of Ground Water on Performance of Stormwater Ponds in Florida. *Watershed Protection Techniques* 2(4):525-528.
- SOROOSHIAN, S.; GUPTA, V.K., (1995). *Model Calibration*. In SINGH, V. P. *Computer Models of Watershaed Hydrology*, Water Resources Publication. Colorado.
- SOROOSHIAN, S.; GUPTA, V.K., (1985). *The Analysis of Structural Identifiability - Theory and Application to Conceptual Rainfall-Runoff Models*, Water Resources Research, 21(4): 487-495, 1985.
- TSUTIYA, M. T., BUENO, R. C. R. (2005). Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário no estado de São Paulo. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, set 2005. Anais. Campo Grande, ABES, 2005.
- TUCCI, C. E. (1997). Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2(2), 5-12.
- TUCCI, C. E. M. (2009). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH.
- TUCCI, C.E.M. (2006) *Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica*. Ministério do Meio Ambiente – Brasília: MMA.
- TUCCI, C.E.M. (2005). *Modelos hidrológicos*. ABRH, Porto Alegre-RS.
- TUCCI, C.E.M. (Org.), (2004). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 3ª edição, Porto Alegre: Ed. UFRGS.
- USDA, SCS. (1972). *National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology*. Washington, DC.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency, (1999). *Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices*. Office of Water (4303) EPA-821-R-99-012. Washington, DC. 1999
- VAN LIEW, M.W.; ARNOLD, J.G.; GARBRECHT, J.D. (2003). Hydrologic simulation on agricultural watersheds: Choosing between two models. *Tans ASABE*, v. 46, p. 1539-1551.
- VILLANUEVA, Adolfo O. N.; TASSI, Rutinéia; ALLASIA, Daniel G.; BEMFICA, Daniela; TUCCI, Carlos. (2011). *Gestão da drenagem urbana, da formulação à implementação*. REGA – Vol. 8, no. 1, p. 5-18, jan./jun. 2011

- VON SPERLING, M., (2005). Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 452 p. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, Belo Horizonte-MG.
- WANIELISTA, Martin P.; YOUSEF, Yousef A. (Ed.), (1993). *Storm water management*. John Wiley & Sons.
- WILMOTT, C.J., ACKLESON, S.G., DAVIS, R.E., FEDDEMA, J.J., KLINK, K.M., LEGATES, D.R., O'DONNELL, J., ROWE, M.C., (1985). *Statistics for the evaluation and comparison of models*. J. Geophys. Res. 90, 8995–9005.
- ZANTA, V. M., & FERREIRA, C. F. A. (2003). Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos. Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Armando Borges de Castilho Júnior (coordenador). Rio de Janeiro: ABES, RiMa.
- ZOPPOU, C., (2001). *Review of urban storm water models*. Environmental Modelling & Software, Volume 16, Issue 3, abril 2001, p. 195–231.

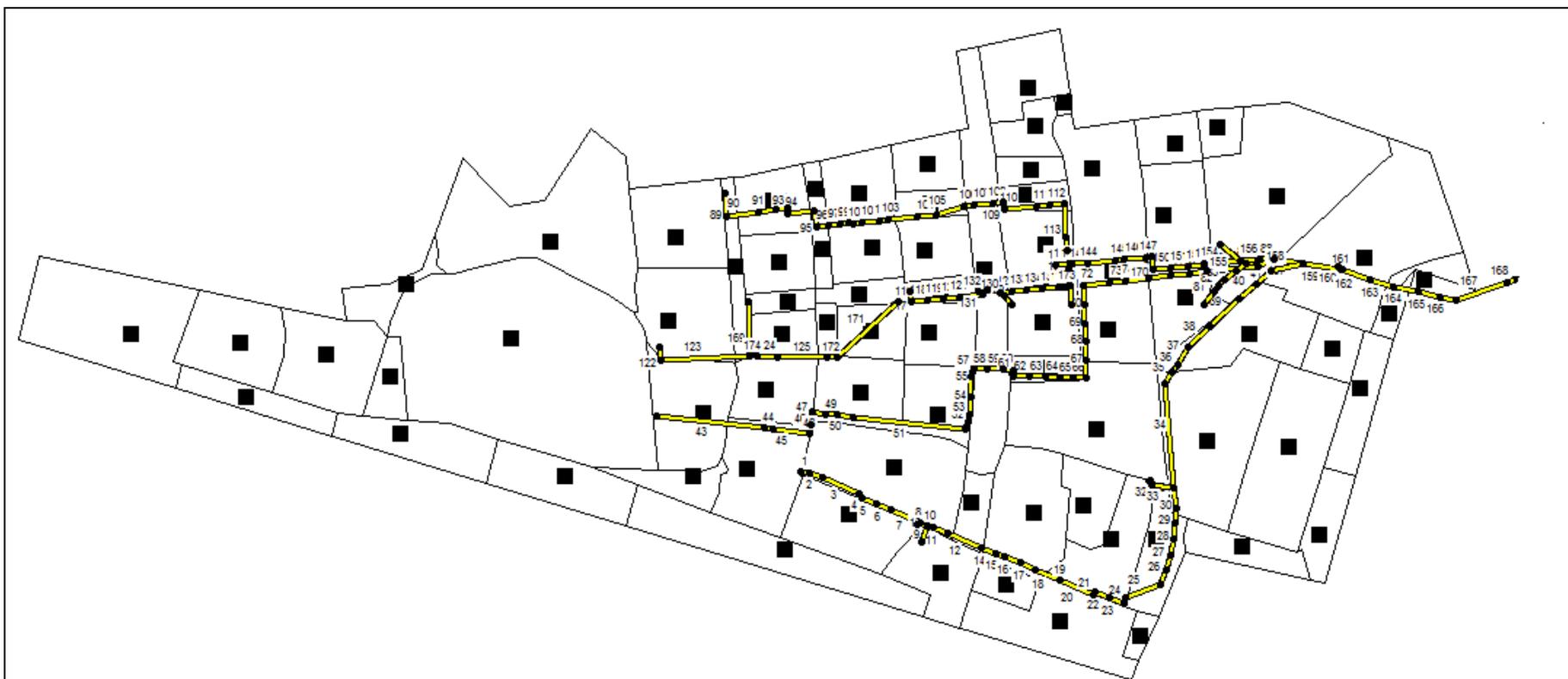
**APÊNDICE – A**

ID	L (m)	N	Forma	G1	G2
1	40.69	0.015	Circular	1.5	0
2	58.77	0.015	Circular	1.5	0
3	174.11	0.015	Circular	1.5	0
4	19.94	0.015	Circular	1.5	0
5	68.83	0.015	Circular	1.5	0
6	70.5	0.015	Circular	1.5	0
7	138.05	0.015	Circular	1.5	0
8	15.99	0.015	Circular	1.5	0
9	34.13	0.015	Circular	1.5	0
10	25.28	0.015	Circular	1.5	0
11	70.93	0.015	Circular	1.5	0
12	161.24	0.015	Circular	1.5	0
13	76.96	0.015	Circular	1	0
14	67.14	0.015	Circular	1.5	0
15	41.16	0.015	Circular	1.5	0
16	71.78	0.015	Circular	1.5	0
17	69.42	0.015	Circular	1.5	0
18	118.75	0.015	Circular	1.5	0
19	1.57	0.015	Circular	1	0
20	161.01	0.015	Circular	1.5	0
21	13.65	0.015	Circular	1.5	0
22	69.43	0.015	Circular	1.2	0
23	66.63	0.015	Circular	1.2	0
24	25.53	0.015	Circular	1.2	0
25	167.27	0.015	Circular	1.2	0
26	67.87	0.015	Circular	1.2	0
27	69.77	0.015	Circular	1.2	0
28	70.02	0.015	Circular	1.2	0
29	70.24	0.015	Circular	1.2	0
30	60.33	0.015	Circular	1.2	0
31	90.83	0.015	Circular	1.2	0
32	21.69	0.015	Circular	1.5	0
33	98.86	0.015	Circular	1.5	0
34	456.72	0.015	Retangular	1.65	1.65
35	58.67	0.015	Retangular	1.7	1.65
36	44.62	0.015	Retangular	1.7	1.65
37	86.96	0.015	Retangular	1.7	1.65
38	127.54	0.015	Retangular	1.7	1.65
39	177.37	0.015	Retangular	1.7	1.65
40	98.73	0.015	Retangular	1.65	1.65
41	3.53	0.015	Circular	1.2	0

ID	L (m)	N	Forma	G1	G2
42	85.76	0.015	Retangular	1.65	1.65
43	471.77	0.015	Circular	1.2	0
44	43.76	0.015	Circular	1.2	0
45	157.38	0.015	Circular	1.2	0
46	40.18	0.015	Circular	1.5	0
47	53.75	0.015	Circular	1.5	0
48	56.7	0.015	Circular	1.5	0
49	55.92	0.015	Circular	1.5	0
50	67.86	0.015	Circular	1.5	0
51	495.29	0.015	Circular	1.5	0
52	35.18	0.015	Circular	1.5	0
53	31.06	0.015	Circular	1.5	0
54	80.38	0.015	Circular	1.5	0
55	88.25	0.015	Circular	1.5	0
56	15.64	0.015	Circular	1.5	0
57	15.01	0.015	Circular	1.5	0
58	58.76	0.015	Circular	1.5	0
59	68.82	0.015	Circular	1.5	0
60	47.91	0.015	Circular	1.5	0
61	29.87	0.015	Circular	1.5	0
62	65.76	0.015	Circular	1.5	0
63	70.33	0.015	Circular	1.5	0
64	62.6	0.015	Circular	1.5	0
65	57.74	0.015	Circular	1.5	0
66	61.74	0.015	Circular	1.5	0
67	79.13	0.015	Retangular	1.65	1.65
68	80.24	0.015	Retangular	1.65	1.65
69	79.11	0.015	Retangular	1.65	1.65
70	79.74	0.015	Retangular	1.65	1.65
71	85.04	0.015	Retangular	1.65	1.65
72	116.2	0.015	Retangular	1.65	1.65
73	70.51	0.015	Retangular	1.65	1.65
74	99.59	0.015	Retangular	1.65	1.65
75	78.78	0.015	Circular	0.5	0
76	97.9	0.015	Retangular	1.65	1.65
77	80.27	0.015	Retangular	1.65	1.65
78	80.39	0.015	Retangular	1.65	1.65
79	223.01	0.015	Retangular	1.65	1.65
80	77.73	0.015	Retangular	1.65	1.65
81	69.98	0.015	Circular	1	0
82	29.46	0.015	Circular	1	0

ID	L (m)	N	Forma	G1	G2
83	39.06	0.015	Circular	1.2	0
84	60.98	0.015	Circular	1.2	0
85	59.37	0.015	Circular	1.2	0
86	52.38	0.015	Circular	1.2	0
87	2.93	0.015	Circular	1	0
88	66.46	0.015	Retangular	2.2	2
89	100.66	0.015	Circular	1.5	0
90	137.21	0.015	Circular	1.5	0
91	79.56	0.015	Circular	1.5	0
92	50.4	0.015	Circular	1.5	0
93	24.55	0.015	Circular	1.5	0
94	115.45	0.015	Circular	1.5	0
95	66.03	0.015	Circular	1.5	0
96	50.37	0.015	Circular	1.5	0
97	50.28	0.015	Circular	1.5	0
98	38.11	0.015	Circular	1.5	0
99	23	0.015	Circular	1.5	0
100	33.63	0.015	Circular	1.5	0
101	77.75	0.015	Circular	1.5	0
102	42.49	0.015	Circular	1.5	0
103	123.97	0.015	Circular	1.5	0
104	86.09	0.015	Circular	1.5	0
105	124.13	0.015	Circular	1.5	0
106	47.68	0.015	Circular	1.5	0
107	80.61	0.015	Circular	1.5	0
108	47.77	0.015	Circular	1.5	0
109	26.69	0.015	Circular	1.5	0
110	139.54	0.015	Circular	1.5	0
111	60.07	0.015	Circular	1.5	0
112	62	0.015	Circular	1.5	0
113	144.12	0.015	Circular	1.5	0
114	58.68	0.015	Circular	1.5	0
115	62.06	0.015	Circular	1.5	0
116	56.06	0.015	Circular	1.5	0
117	41.18	0.015	Circular	1	0
118	70.59	0.015	Circular	1.5	0
119	70.01	0.015	Circular	1.5	0
120	70.15	0.015	Circular	1.5	0
121	103.53	0.015	Circular	1.5	0
122	56.75	0.015	Circular	0.4	0
123	389.3	0.015	Circular	1.5	0
124	91.67	0.015	Circular	1.5	0
125	211.59	0.015	Circular	1.5	0
127	78.94	0.015	Circular	1.5	0

ID	L (m)	N	Forma	G1	G2
128	46.7	0.015	Circular	1.5	0
129	52.36	0.015	Circular	0.5	0
130	21.03	0.015	Circular	0.5	0
131	21.61	0.015	Circular	0.4	0
132	25.55	0.015	Circular	0.4	0
133	66.48	0.015	Circular	1.5	0
134	69.64	0.015	Circular	1.5	0
135	70.65	0.015	Circular	1.5	0
136	19.53	0.015	Circular	1.5	0
137	15.4	0.015	Circular	1.5	0
139	77.7	0.015	Circular	1.5	0
140	17.27	0.015	Circular	1.5	0
141	62.77	0.015	Circular	0.5	0
142	11.38	0.015	Retangular	2.2	2
143	69.57	0.015	Retangular	2.2	2
144	116.84	0.015	Retangular	2.2	2
145	42.93	0.015	Retangular	2.2	2
146	90.74	0.015	Retangular	2.2	2
147	30.94	0.015	Retangular	2.2	2
150	70.57	0.015	Retangular	2.2	2
151	80.33	0.015	Retangular	2.2	2
152	70.76	0.015	Retangular	2.2	2
153	7.27	0.015	Circular	1	0
154	159.05	0.015	Retangular	2.2	2
155	116.19	0.015	Circular	1	0
156	80.46	0.015	Retangular	2.2	2
157	130	0.015	Retangular	2.6	2.6
158	146.86	0.015	Retangular	1.6	1.6
159	164.03	0.015	Retangular	2.6	2.6
160	20.83	0.015	Circular	1.2	0
161	8.23	0.015	Circular	1.2	0
162	134.06	0.015	Retangular	3	3
163	107.38	0.015	Retangular	3	3
164	111.1	0.015	Retangular	3	3
165	100.07	0.015	Retangular	3	3
166	68.98	0.015	Retangular	3	3
167	232.46	0.015	Retangular	3	3
168	42.68	0.015	Retangular	3	3
169	236.66	0.015	Circular	0.4	0
170	53.71	0.015	Retangular	2.2	2
171	360.4	0.015	Circular	1.5	0
172	45.3	0.015	Circular	1.5	0
173	18.93	0.015	Circular	1.5	0
174	400	0.015	Circular	1.5	0



Identificação dos condutos da rede de drenagem de águas pluviais da bacia do Iate Clube.

ID	Elevação	Profund.
86	1074.75	1.1
87	1076.72	2
88	1074.04	4
89	1070.96	4
90	1071.79	3
91	1069.33	4
92	1073.23	1.1
93	1066.62	4
94	1063.6	4
95	1061.18	4
96	1059.65	4
97	1060.42	4
98	1058.92	4
99	1060.05	3
100	1058.69	4
101	1058.58	4
102	1059.56	4
103	1058.56	4
104	1061.98	3
105	1055.36	4
106	1053.86	5
107	1052.41	4
108	1050.97	4
109	1043.64	3.93
110	1078.34	4
111	1042.01	4.58
113	1042	5
114	1040.61	4.58
115	1038.69	5.02
116	1036.9	5.02
117	1033.89	4.3
118	1036.2	3.06
119	1031.72	4.26
120	1030.19	5.09
121	1032.1	4.8
122	1080.03	4
123	1033.22	3.65
124	1081.56	4
125	1083.74	5
126	1084.88	5
127	1088.86	4
128	1101.41	4.42
129	1100.38	4.64

ID	Elevação	Profund.
130	1095.11	4
131	1093.59	5.13
132	1090.96	5.18
133	1087.62	6.04
134	1083.11	5.82
135	1083.98	8.84
136	1082.81	5.1
137	1085.27	5.18
138	1081.13	5.75
139	1080.63	4.05
140	1078.89	3.35
141	1078.37	3.46
142	1077.97	3.48
143	1077.18	3.71
144	1076.57	3.72
145	1075	3.91
146	1075.27	5
147	1071.79	3
148	1070.9	4.45
149	1069.368	4.02
150	1068.8	3.94
151	1068.48	9.5
152	1067.24	3.88
153	1064.45	4.88
154	1061.57	4.87
155	1058.29	5.79
156	1056.61	4.98
157	1053.87	6.07
158	1051.04	6.94
159	1044.66	4.11
160	1043.83	3.43
161	1043.44	3.16
162	1042.66	3.51
163	1041.53	4.64
164	1040.17	3.82
165	1036.63	3.75
166	1037.07	3.28
167	1032.82	3.92
169	1034.14	3.38
170	1038.66	3.86
171	1040.32	3.75
172	1042.45	3.8
173	1044.9	3.12
174	1046.6	4

ID	Elevação	Profund.
175	1048.2	4
176	1050.1	4
177	1051.7	4
178	1053.07	3.82
179	1053.15	4.37
180	1053.25	4.89
181	1053.58	6.52
182	1055.41	5.47
183	1057.05	5.76
184	1058.99	4.93
185	1060.28	5.9
186	1061.15	9.23
187	1061.23	8.36
188	1062.29	4.57
189	1065.96	6.18
190	1066.48	7.85
191	1067.86	6.3
192	1067.99	6.57
193	1070.41	5.41
194	1072.82	4.55
195	1073.13	4.91
196	1073.68	4.96
197	1089.36	5.48
198	1093.36	3.96
199	1094.48	4.42
200	1096.25	3.95
201	1096.83	3.83
202	1097.29	4.21
203	1099.87	4.22
204	1100.47	3.43
205	1107.41	5
206	1109.97	3.14
207	1108.8	3.73
208	1106.6	3.98
209	1105	3.6
210	1103.8	3.83
211	1103.49	3.7
212	1098.7	5.05
213	1100.81	4.29
214	1097.11	5.34
215	1095.24	4.26
216	1093.58	5.38
217	1092.93	5.59
218	1092.72	5.4

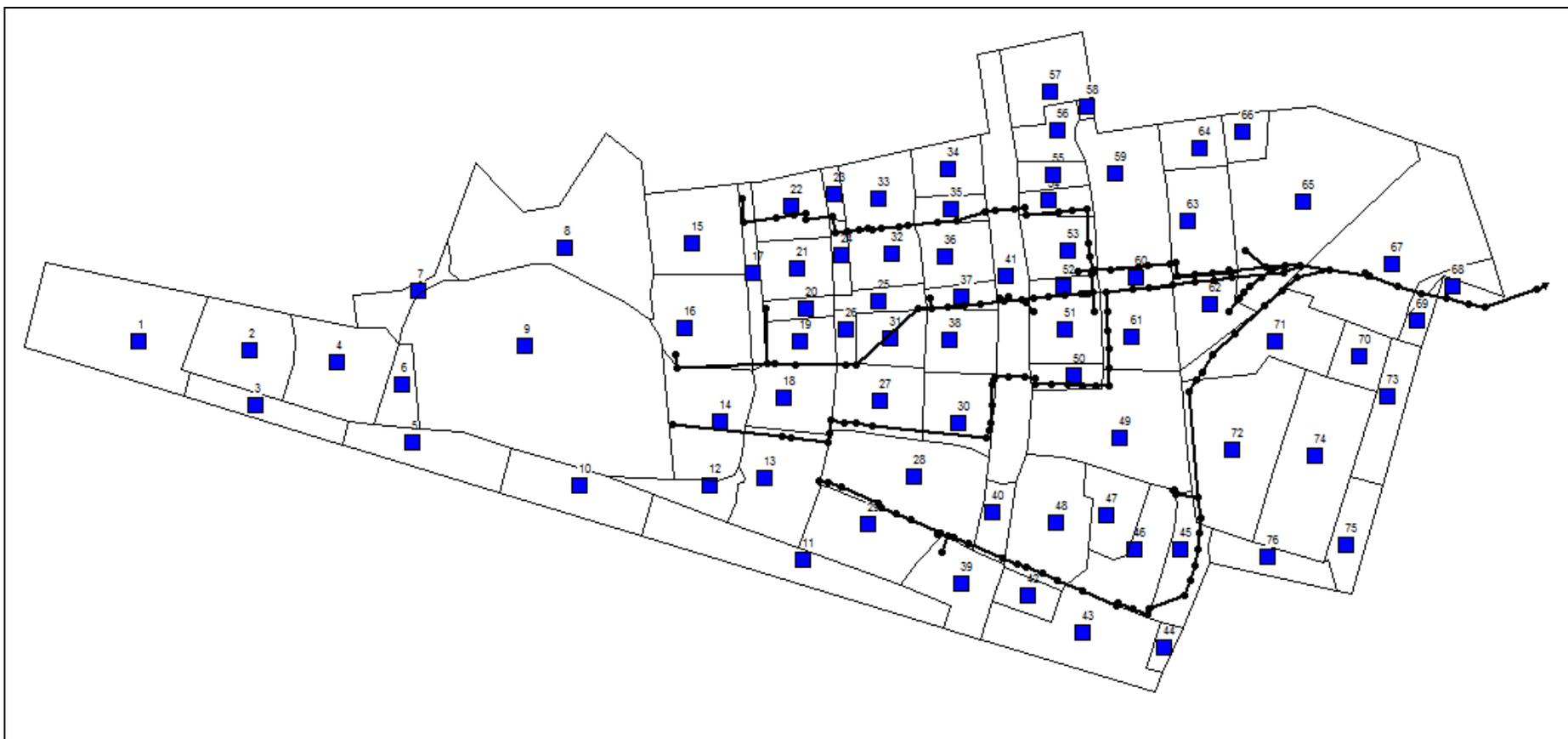
ID	Elevação	Profund.
219	1089.69	4.58
220	1088.04	4
221	1086.7	4
222	1083.4	4
223	1080.36	4
224	1078.52	4
225	1075.42	4
226	1073.621	4
227	1073.17	4
228	1067.84	4
229	1065.54	4
230	1060.97	4
231	1060.5	4
232	1059.5	5

ID	Elevação	Profund.
233	1057.8	5
234	1037.42	4.33
235	1033.25	4.6
236	1033.52	3.46
237	1033.83	3.07
238	1034.67	2.83
239	1035.5	0
240	1008.86	4.7
241	1010.85	4.22
242	1013.96	5.5
243	1017.12	6.28
244	1019.12	6.46
245	1021.86	5.08
246	1021.42	5.35

ID	Elevação	Profund.
247	1022.52	4.45
248	1099	4.39
249	1054.81	6.06
250	1055.86	4.6
256	1107.53	4.05
257	1109.06	2.2
258	1100.67	3.05
259	1097.49	5.6
260	1105.44	1.34
261	1096.02	5.3
262	1093.11	3.77
263	1091.3	4
264	1026.7	0
265	1000.05	5



Identificação dos PVs na rede de drenagem pluvial da Bacia do Iate Clube.



Identificação das sub-bacias de contribuição da Bacia do Iate Clube.

## APÊNDICE – B

Descrição dos elementos de entrada (Width, declividade e CN) por sub-bacia de contribuição

ID Sub-bacia	Width (m)	Slope	CN
1	460	0.1	84
2	480	0.1	89
3	175	0.59	80
4	452	1.58	95
5	427	1.43	80
6	197	1.72	91
7	205	1.85	84
8	440	1.13	98
9	816	1.22	95
10	354	1.26	80
11	295	0.91	84
12	137	1.31	84
13	509	0.58	95
14	462	1.65	84
15	364	1.47	91
16	488	1.61	87
17	120	1.55	98
18	301	1.59	95
19	214	1.89	92
20	96	1.81	95
21	344	1.38	95
22	420	0.24	95
23	107	0.20	98
24	123	2.05	93
25	165	2.12	95
26	116	1.93	98
27	477	2.07	95
28	382	2.29	95
29	309	1.10	95
30	313	1.14	95
31	238	1.96	87
32	354	2.44	87
33	286	2.38	87
34	225	2.36	87
35	172	2.30	87
36	355	2.11	87
37	137	2.09	95
38	276	1.13	87

ID Sub-bacia	Width (m)	Slope	CN
39	310	1.88	98
40	162	2.28	98
41	268	1.94	98
42	239	2.06	95
43	240	1.73	84
44	110	1.71	95
45	245	2.06	84
46	271	3.18	90
47	291	3.58	90
48	465	1.10	95
49	421	2.80	84
50	165	2.78	95
51	333	2.52	87
52	110	2.41	95
53	334	2.70	87
54	136	2.83	95
55	196	2.92	87
56	280	2.71	84
57	403	1.72	87
58	102	2.23	95
59	377	1.96	87
60	133	1.66	95
61	315	1.62	87
62	413	1.49	98
63	432	1.88	95
64	310	2.036	95
65	703	1.60	70
66	180	2.06	93
67	802	1.69	84
68	130	2.62	84
69	181	2.79	84
70	292	0.75	84
71	379	1.44	84
72	626	1.64	87
73	197	1.22	84
74	436	1.96	84
75	294	2.37	84
76	512	1.98	84

## APENDICE C

**Caracterização da precipitação monitorada no ano hidrológico de 2013-2014 para as bacias do CO e Iate.**

<b>C.O.</b>				<b>IATE</b>			
<b>Data do evento</b>	<b>Duração</b>	<b>Intensidade</b>	<b>TR</b>	<b>Data do evento</b>	<b>Duração</b>	<b>Intensidade</b>	<b>TR</b>
16/10/13	15	7.11	0.0	01/10/13	60	0.78	0.0
17/10/13	100	0.54	0.0	03/10/13	120	1.026	0.0
18/10/13	30	5.4	0.0	04/10/13	300	0.228	0.0
19/10/13	35	4.81	0.0	07/10/13	180	0.934	0.0
30/10/13	200	1.85	0.0	08/10/13	350	3.374	0.0
31/10/13	185	2.86	0.0	16/10/13	10	6.16	0.0
05/11/13	315	3.373	0.0	19/10/13	10	4.06	0.0
05/11/13	425	1.56	0.0	21/10/13	30	2.2	0.0
06/11/13	725	6.93	2.5	30/10/13	160	1.59	0.0
07/11/13	110	3.596	0.0	31/10/13	130	2.6	0.0
08/11/13	105	1.82	0.0	01/11/13	20	0.907	0.0
08/11/13	225	13.4	0.5	05/11/13	300	2.117	0.0
09/11/13	105	2.22	0.0	06/11/13	740	3.25	0.0
10/11/13	250	8.69	0.1	07/11/13	110	0.868	0.0
11/11/13	155	5.96	0.0	08/11/13	40	21.98	0.0
12/11/13	180	10.58	0.0	09/11/13	30	3.55	0.0
13/11/13	285	6.65	0.0	10/11/13	310	3.839	0.0
17/11/13	80	0.65	0.0	12/11/13	190	4.781	0.0
23/11/13	55	2.26	0.0	13/11/13	70	22.25	0.0
25/11/13	70	2.45	0.0	13/11/13	80	11.09	0.0
27/11/13	20	3.67	0.0	24/11/13	120	0.9	0.0
27/11/13	150	4.76	0.0	25/11/13	220	2.431	0.0
28/11/13	140	6.07	0.0	27/11/13	220	2.934	0.0
30/11/13	270	5.15	0.0	28/11/13	150	6.03	0.0
02/12/13	70	17.63	0.0	30/11/13	210	4.636	0.0
03/12/13	75	3.38	0.0	02/12/13	40	13.2	0.0
05/12/13	260	24.85	44.3	03/12/13	40	11.4	0.0
05/12/13	175	9.8	0.0	05/12/13	210	13.14	0.3
08/12/13	10	9.1	0.0	06/12/13	180	6.13	0.0
09/12/13	60	7.6	0.0	08/12/13	20	12	0.0
09/12/13	175	17.05	0.6	09/12/13	160	8.7	0.0
11/12/13	115	3.75	0.0	11/12/13	90	2.133	0.0
12/12/13	140	11.0735	0.0	12/12/13	110	8.29	0.0
13/12/13	90	8.88	0.0	14/12/13	10	9.59	0.0
14/12/13	130	3.24	0.0	16/12/13	40	3.6	0.0
17/12/13	450	6.78	0.2	18/12/13	30	12.8	0.0
18/12/13	130	3.83	0.0	21/12/13	80	16.5	0.0
18/12/13	35	10.2	0.0	21/12/13	60	21.2	0.0
21/12/13	60	27.69	0.1	22/12/13	40	10.2	0.0

**Caracterização da precipitação monitorada no ano hidrológico de 2013-2014 para as bacias do CO e Iate.**

<b>C.O.</b>				<b>IATE</b>			
<b>Data do evento</b>	<b>Duração</b>	<b>Intensidade</b>	<b>TR</b>	<b>Data do evento</b>	<b>Duração</b>	<b>Intensidade</b>	<b>TR</b>
22/12/13	50	9.3	0.0	22/12/13	40	22.2	0.0
22/12/13	150	10.15	0.0	23/12/13	10	50.39	0.0
23/12/13	25	7.31	0.0	25/12/13	10	28.8	0.0
27/12/13	220	9.3	0.0	27/12/13	200	15.11	0.6
15/01/14	85	2.2	0.0	15/01/14	20	6.7	0.0
17/01/14	120	5.94	0.0	16/01/14	40	1.74	0.0
18/01/14	180	3.65	0.0	17/01/14	120	6.612	0.0
18/01/14	130	11.12	0.0	18/01/14	100	14.71	0.0
21/01/14	380	8.46	0.3	19/01/14	80	0.7	0.0
22/01/14	180	3.6	0.0	21/01/14	390	8.2	0.3
24/01/14	145	2.038	0.0	22/01/14	180	5.78	0.0
27/01/14	70	7.44	0.0	24/01/14	150	1.698	0.0
				27/01/14	70	3.33	0.0