

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

**MONITORAMENTO E MODELAGEM DE ÁGUAS DE  
DRENAGEM URBANA NA BACIA DO LAGO PARANOÁ**

**MARIA ELISA LEITE COSTA**

**ORIENTADOR: SÉRGIO KOIDE**

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

**PUBLICAÇÃO: PTARH.DM –148/2013**

**BRASÍLIA/DF: JUNHO – 2013**

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

**MONITORAMENTO E MODELAGEM DE ÁGUAS DE  
DRENAGEM URBANA NA BACIA DO LAGO PARANOÁ**

**MARIA ELISA LEITE COSTA**

**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<sup>a</sup>. Conceição Maria Albuquerque Alves, PhD (ENC-UnB)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**Prof. Klebber Teodomiro Martins Formiga, Dr (UFG)  
(EXAMINADOR EXTERNO)**

**BRASÍLIA-DF, 11 DE JUNHO DE 2013.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

COSTA, M.E.L.

MONITORAMENTO E MODELAGEM DE ÁGUAS DE DRENAGEM URBANA NA BACIA DO LAGO PARANOÁ.

xxiv, 179p., 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

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, 179p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DA AUTORA: Maria Elisa Leite Costa

TÍTULO: Monitoramento e Modelagem das Águas da drenagem urbana na Bacia do Lago Paranoá.

GRAU: Mestre

ANO: 2013

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.

---

**Maria Elisa Leite Costa**  
**Rua Raphael Perrelli, 206, apt nº 201 Jatiuca CEP.: 57036-770**  
**Maceió-AL, Brasil**  
**mariaelisaleitecosta@gmail.com**

**Á Bruna e  
ao Matheus**

**A chuva te ensina  
a ser invariável  
sem se repetir.**

Ledo Ivo

## AGRADECIMENTOS

À Deus e a Virgem dos Pobres por terem me ajudado, me abençoando e me protegendo, em todos os momentos, me fazendo acreditar, me fazendo persistir. E ao meu anjo da guarda, por ter me guardado, governado e me iluminado tanto nos últimos meses!

Aos meus pais, Rubens e Anabel, e a minha irmã, Alice, por entenderem minha ausência, por respeitar meu silêncio, por relevarem meus humores, e por me permitirem realizar esse mestrado.

Ao meu orientador, Sérgio Koide, pela inestimável paciência e solidariedade em dividir seu conhecimento, sua experiência e seu tempo comigo. Por ter me dado todo o apoio necessário para a realização dessa dissertação.

Ao tio Avelar e a Tia Lela que me acolheram esses dois anos em sua casa em Brasília. A Thaís e a Tati, ao Matheus e a Bruna pela descontração, e a Maria, a Rita pelo apoio.

Aos professores do PTARH, Yovanka Pereza, Cristina Brandão, Marco Antônio, Carlos Lima, Conceição Alves, Dirceu Reis, Lenora Gomes, Ariuska Carla, Ricardo Minoti, João Bosco, Nestor Campana, e Oscar Cordeiro Netto pelas aulas ministradas, dúvidas sanadas, pelas conversas de corredores, pelo incentivo e pela formação do mestrado na UnB.

A Genilda e a Bruna pela amizade construída nesses dois anos, pelo carinho, pelas palavras, pelo apoio, pela aprendizagem, pelas ideias, pelo suporte, pelas caronas, pelas risadas.

Aos colegas de sala do mestrado, Leonardo Piau, Diogo Gebrim e principalmente a Olga Caminha, por aceitarem a bagunça que eu fazia na sala com bom humor e por toda ajuda.

Aos colegas de mestrado, Patricia Bermond, Adriane Dias, Luis Carlos, Rodrigo Otsuki, Arthur Tavares, Lucas Achaval, Luiz Gustavo, Caroline Alvarenga, Felipe Sampaio, Patricia Cruvinel, Renata Farias, Fabiano Silva, Reuel Lopes, Diana Jimena, Mateus Amaral, Cássio Rampinelli, Ana Maria, Oscar Ocampo, Vinicius Grossi, e a Naiara Raiol.

As amigas de longe, Josuely, Daysy e Irene pela ajuda técnica, pela atenção, por escutar minhas angústias também.

Àqueles que me ligaram para informar sobre a chuva: Bruno Távora, Pedro Rocha, Heuler Pinto, Rui Junior e a Olivia Coimbra.

Ao Iate Clube de Brasília, por permitir a instalação de um ponto de monitoramento nos seus domínios, aos funcionários da recepção e da portaria por nos receberem quase que diariamente, e principalmente ao Eng<sup>o</sup> Humberto, que viabilizou a nossa instalação.

Aos funcionários da portaria do Centro Olímpico da UnB, em especial ao Reginaldo, por permitirem o nosso acesso e nos acompanharem em algumas visitas de campo.

Aos professores, Conceição e Dirceu, em especial, por permitirem a instalação do pluviógrafo em sua casa e sempre muito solícitos por me receberem para baixar os dados.

À CAESB, por instalar um pluviógrafo na ETA Norte e por disponibilizar os dados. A Maria do Carmo, ao Augusto Cesar, a Vanusa e ao Joner pelo tempo gasto comigo para atender aos meus inúmeros pedidos.

Ao DNIT, por permitir a instalação de um pluviógrafo em seu telhado e pela disponibilidade de nos receber para a aquisição dos dados. Em especial, ao Pedro Murga, por ter facilitado esse processo.

Ao INMET por disponibilizar em seu sítio eletrônico dados de precipitação a cada hora.

Aos integrantes do projeto Maplu, em especial ao Junior por ter auxiliado na instalação dos equipamentos para a obtenção dos dados desse trabalho e a Derlayne por ter participado junto comigo nesse projeto todos os dias, buscando as amostras e as analisando comigo, sendo pessoa fundamental para aquisição dos dados contidos nesse trabalho.

Ao professor Sérgio Braga, por ter confeccionado o detector de nível para o amostrador automático, e conseqüentemente proporcionar a realização do monitoramento da maneira como foi executada.

Ao Laboratório de Análises de Águas por ter cedido o espaço e equipamentos para a realização das análises das amostras, e aos funcionários, como a Carla, Marcilene, Boy, James, Sara e Junior.

À Polícia Ambiental do DF, por retirado a cobra dos equipamentos em um dos pontos de monitoramento.

Ao Neto, por consertar o meu computador.

A Organização dos Estados Americanos por me fornecer uma bolsa de estudos para a realização do curso de SWMM à distância pela Universidade Politécnica de Valencia.

A ChiWater pela confiança e apoio ao me oferecer a versão universitária gratuita do PCSWMM.

Ao Ivo e ao Caio por terem sido tão prestativos em responder os meus e-mails com dúvidas sobre a simulação (não foram poucos).

Ao CNPq pela bolsa concebida.

Agradecer também a São Pedro por ter proporcionado uma estação chuvosa tão boa!

## **RESUMO**

### **MONITORAMENTO E MODELAGEM DE ÁGUAS DE DRENAGEM URBANA NA BACIA DO LAGO PARANOÁ**

Autora: Maria Elisa Leite Costa

Orientador: Sergio Koide

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Brasília, 11 de junho de 2013

O escoamento superficial nas bacias urbanas da cidade de Brasília é importante fonte de poluentes para o Lago Paranoá, prejudicando a sua qualidade, na forma de poluição difusa. As cargas difusas que o atingem são de difícil determinação por exigir a medição de vazões e concentrações dos poluentes nas galerias de drenagem. Assim, pretende-se analisar o comportamento quantitativo e qualitativo das águas de drenagem urbana por meio do monitoramento da precipitação e do escoamento superficial em eventos de cheia e pela modelagem matemática, com o modelo SWMM. Para isso, utilizou-se linígrafos e amostradores automáticos para a determinação da vazão e da concentração, respectivamente, dentro das galerias de drenagem, próximo ao exutório durante os eventos de cheia. Foram monitorados quantitativamente 97 eventos e qualitativamente, 34, constituindo 438 amostras, no qual se analisaram variáveis físico-químicas de qualidade da água, tendo em vista a preocupação com a eutrofização e o assoreamento do corpo hídrico. Verificou-se que o modelo se aplica bem a esse tipo de bacia, mas pode ser melhorado com a calibração de um evento. Na fase de verificação, percebe-se que o modelo SWMM responde bem a eventos com o mesmo coeficiente de escoamento e que uma alteração no método de infiltração utilizado pode melhorar a performance do modelo. Portanto, recomenda-se o uso do modelo para a análise do escoamento superficial gerado em bacias urbanas e que com o modelo hidráulico calibrado apenas para um único evento é possível que essa ferramenta seja utilizada para estimar as vazões com precisão satisfatória. Quanto às cargas de poluição difusa causadas pela drenagem pluvial, concluiu-se que elas são mais significativas do que as cargas do esgoto tratado lançada no Lago Paranoá para os meses de novembro e janeiro.

**Palavras-chaves:** qualidades das águas urbanas, SWMM, poluição difusa.

## **ABSTRACT**

### **MONITORING AND MODELING OF URBAN WATER DRAINAGE BASIN OF LAKE PARANOÁ**

Author: Maria Elisa Leite Costa

Supervisor: Sergio Koide

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Brasília, 11 June 2013

The runoff in urban watersheds of Brasília is an important source of pollutants to Lake Paranoá, degrading water quality as diffuse pollution. The diffuse pollutant loads that are discharged are difficult to estimate because it requires the measurement of flow rates and concentration of pollutants in drainage network. Thus, this research aims to analyze the behavior of quantity and quality of urban drainage waters based on monitoring of rainfall and runoff during floods events, in addition to mathematical modeling, with SWMM. Therefore, flow meters and automatic samplers were used to determine the flow and the concentration, respectively, inside the drainage network, next the outfall, during the flood events. Flows were obtained for 97 events and water quality for 34 events, amounting 438 samples, which were analyzed for physical and chemical water quality variables, due to concerns on eutrophication and siltation. It was confirmed that SWMM model fits well to this type of watershed, however the results can be improved by calibration to one event. In the verification stage, it was verified that the model responds well to events with runoff coefficient of similar magnitude and changing the infiltration method can improve the model performance. Therefore, it is recommended the use of the SWMM model for the analysis of runoff generated from urban watersheds and the hydraulic model calibrated with just a single event provides a tool that can be used to estimate flow accurately enough. About the diffuse pollutants loads it is possible to conclude that the load from the drainage system is more significant than loads from treated sewage released into Lake Paranoá in November and January.

**Keyword:** water quality, SWMM, diffuse pollutants loads.

## Índice

1.	INTRODUÇÃO .....	1
2.	OBJETIVO.....	3
3.	REFERENCIAL TEÓRICO .....	4
3.1.	Qualidade da água.....	4
3.2.	Águas Urbanas .....	7
3.2.1.	Uso e ocupação do solo .....	8
3.2.2.	Cargas Difusas .....	10
3.2.3.	Transporte de sedimentos .....	12
3.3.	Monitoramento Hidrológico .....	14
3.4.	Modelos Hidrológicos.....	15
3.4.1.	Modelos Matemáticos.....	15
3.4.2.	Modelos de qualidade de água.....	16
3.4.3.	SWMM - Storm Water Management Model .....	17
3.4.3.1.	Modelo chuva-vazão.....	18
3.4.3.2.	Modelo de qualidade da água .....	22
3.4.3.3.	Resumo dos processos hidráulicos e hidrológicos e de qualidade da água ocorrido no modelo SWMM .....	25
4.	METODOLOGIA .....	26
4.1.	Área de Estudo.....	28
4.1.1.	Características da Bacia Hidrográfica.....	30
4.1.1.1.	Clima.....	30
4.1.1.2.	Solos.....	30
4.1.1.3.	Geomorfologia .....	30
4.1.1.4.	Vegetação.....	31
4.1.2.	Sistema de drenagem urbana .....	32
4.1.3.	Sub-bacias .....	32
4.1.3.1.	Uso e Ocupação nas sub-bacias de estudo.....	38
4.1.3.2.	Coleta de resíduos .....	38
4.1.3.3.	Sub-bacia do C.O.....	41
4.1.3.4.	Sub-bacia do Iate .....	47
4.2.	MONITORAMENTO.....	54
4.2.1.	Instalação de equipamentos .....	54
4.2.1.1.	Precipitação.....	54
4.2.1.2.	Vazão .....	57
4.2.1.3.	Concentração dos poluentes.....	62
4.2.2.	Análise de Qualidade da água.....	65
4.3.	Modelos Matemáticos.....	68
4.3.1.	SWMM .....	68
4.3.1.1.	Cálculos do modelo .....	68
4.3.1.2.	Divisão da sub-bacia.....	69
4.3.1.3.	Sub-bacias .....	70
4.3.1.4.	Pluviometria.....	71
4.4.	ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DO MODELO .....	72
4.4.1.1.	ISE rating e ISE - Integral Square Error .....	72
4.4.1.2.	NS - Nash-Sutcliffe.....	72
4.4.1.3.	SEE – Standard Error of Estimate .....	73
4.4.1.1.	RMSE – Root Mean Square Error .....	73
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	74

5.1.	ANÁLISE DOS DADOS DE CHUVA .....	74
5.1.1.	Análise da intensidade – duração – frequência dos eventos ocorridos nas sub-bacias em estudo .....	79
5.2.	determinação da vazão .....	82
5.3.	Análise chuva-vazão .....	88
5.4.	análise da QUALIDADE DAS ÁGUAS DA DRENAGEM URBANA .....	92
5.4.1.	Qualidade da água no período de estiagem.....	92
5.4.2.	Qualidade da água em eventos de chuva .....	94
5.4.2.1.	Turbidez .....	94
5.4.2.2.	Condutividade .....	100
5.4.2.3.	Sólidos .....	104
5.4.2.4.	Nitrogênio .....	110
5.4.2.5.	Fósforo .....	117
5.4.2.6.	Matéria Orgânica .....	122
5.4.3.	Correlação entre os parâmetros.....	128
5.5.	ANÁLISE DAS CARGAS DE POLUIÇÃO GERADAS.....	134
5.5.1.	Cargas de poluentes na sub-bacia do C.O.....	135
5.5.2.	Cargas de poluentes na sub-bacia do Iate .....	143
5.6.	MODELAGEM CHUVA-VAZÃO .....	148
5.6.1.	Calibração .....	148
5.6.2.	Verificação do modelo calibrado .....	154
5.7.	MODELAGEM DE CARGAS DE POLUIÇÃO .....	162
5.7.1.	Modelagem da DQO .....	162
5.7.2.	Modelagem dos SS .....	167
6.	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....	169
	REFERÊNCIAS .....	173

## Lista de Figuras

Figura 3-1 . Inundação no prédio principal da Universidade de Brasília em 2011. ....	7
Figura 3-2. Geração do escoamento no modelo SWMM. ....	18
Figura 3-3. Esquema do modelo SCS. (Fonte: .....	20
Figura 4-1. Organograma da metodologia aplicada à análise das águas de drenagem urbana. ....	27
Figura 4-2. Mapa do Distrito Federal com destaque para a Bacia do Lago Paranoá, que contém as duas sub-bacias urbanas estudadas.....	29
Figura 4-3. Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia do Lago Paranoá em 2009(Tomaz, 2011). ....	31
Figura 4-4. Delimitação da sub-bacia do C.O. ....	33
Figura 4-5. Delimitação da sub-bacia do Iate.....	33
Figura 4-6. Rede de drenagem urbana da bacia do C.O, com detalhes do exultorio tanto a jusante (Saída no Lago Paranoá) quanto a montante (Galeria de drenagem). ....	35
Figura 4-7. Mapa de declividade na sub-bacia do C.O. Base de dados: SICAD, 2010. ....	35
Figura 4-8. Mapa de elevação na sub-bacia do C.O. Base de dados: SICAD, 2010. ....	36
Figura 4-9. Uso e Ocupação do solo na sub-bacia do C.O. Fonte: Amorim, 2012. ....	36
Figura 4-10. Rede de drenagem da sub-bacia do Iate. Base de dados: SICAD, 2010....	37
Figura 4-12. Elevação na sub-bacia do Iate.....	37
Figura 5-1. Acúmulo de resíduos nas bocas de lobo. ....	39
Figura 5-2. Bloco residencial que separa os resíduos sólidos em seco e molhado nos conteires.....	39
Figura 5-3. Lixeiras dentro dos edificios com separação dos resíduos. ....	39
Figura 5-4. Disposição direta em logradoures públicos. ....	40
Figura 5-5. Lixeiras dentro dos edificios com separação dos resíduos. ....	40
Figura 5-6. Varrição no bairro da Asa Norte. Fonte: Fernando Aragão, 2007.....	40
Figura 5-7. Visão aerea do autódromo de Brasília. ....	41
Figura 5-8. Centros educacionais na SGAN 905 e 906.....	42
Figura 5-20. Setor comercial com lava-jatos e oficinas na SGAN 905.....	42
Figura 5-10. Oficinas predominando na SCRN 704/705. ....	42
Figura 5-11. Detalhes das oficinas dentro da quadra e óleo derramado na rua. ....	43
Figura 5-12. Frente da SCRN 704/705.....	43
Figura 5-13. Entrada da SCRN 706/707.....	43
Figura 5-14. Dentro da SCRN 706/707. ....	43
Figura 5-15. Saída da SCRN 706/707. ....	43
Figura 5-16. Frente da quadra 707. ....	43
Figura 5-17. Escola no fundo da quadra 707.....	43
Figura 5-29. Casas e edificios residenciais na quadra 707. ....	43
Figura 5-19. Destaque para os container de lixo. ....	43
Figura 5-20. Frente da quadra 705N.....	44
Figura 5-21. Edificios e casas residenciais na 705. ....	44
Figura 5-22. Containers e sacos de lixo na quadra 706N. ....	44
Figura 5-34. Lixo colocados em cestos verticais nas calçadas.....	44
Figura 5-24. Sacos de lixo dispostos em frente as casas residenciais direto na calçada. ....	44
Figura 5-25. SQN 107. Destaque para os containers de lixo.....	45
Figura 5-26. SQN 307 .....	45
Figura 5-27. CLN 305/306. Destaque para os conterners de lixo. ....	45
Figura 5-28. SQN 405. Destaque para os sacos de lixo acumulados nas calçadas. ....	45
Figura 5-29. SQN 206. ....	45

Figura 5-30. Momento da coleta de lixo na SQN 105, quando todos os sacos foram organizados para serem colhidos pelo caminhão. ....	45
Figura 5-31. Containers de um bloco da SQN 305. ....	45
Figura 5-32. Escola na 604. ....	46
Figura 5-33. HUB na 604. ....	46
Figura 5-34. Clínica Odontológica da UnB na 605. ....	46
Figura 5-35. Hospital na 608. ....	46
Figura 5-36. Colina: edifícios residenciais da UnB. ....	46
Figura 5-37. Instituto Central de Ciências, maior prédio da Universidade de Brasília..	46
Figura 5-38. Saida da galeria para o Lago Paranoá no C.O. ....	47
Figura 5-39. Setor Militar Urbano. ....	47
Figura 5-40. Palácio do Buriti. ....	47
Figura 5-41. Monumento JK. ....	48
Figura 5-42. Ginásio Nilson Nelson. ....	48
Figura 5-43 Estádio Nacional Mané Garrincha. ....	48
Figura 5-44. Setor Hoteleiro Norte. ....	48
Figura 5-45. Obras no Setor Hoteleiro Norte. ....	48
Figura 5-46. Obras no Setor Hoteleiro Norte. ....	49
Figura 5-47. Obras no Setor Hoteleiro Norte. ....	49
Figura 5-48. Setor de Radio e Tv Norte. ....	49
Figura 5-49. Concessionária no Setor Comercial Norte (SCN). ....	49
Figura 5-50. Edifícios no setor comercial norte. ....	49
Figura 5-51. Setor Bancário Norte (SBN) ....	50
Figura 5-63. Estacionamentos no SBN. ....	50
Figura 5-53. Clinicas no Setor Médico Hospitalar Norte. ....	50
Figura 5-54. HRAN. ....	50
Figura 5-55. Shopping Center. ....	51
Figura 5-56. Teatro Nacional. ....	51
Figura 5-57. Setor de Autarquias Norte, prédio do DNIT. ....	51
Figura 5-58. Setor de Autarquias Norte, prédio do DNPM. ....	51
Figura 5-70. Início da Esplanada dos Ministérios. ....	51
Figura 5-71. Colégio na 702. ....	52
Figura 5-61. SCRN 702/703. ....	52
Figura 5-62. SQS 302. ....	52
Figura 5-63. SQS 303. ....	52
Figura 5-64. Quadra comercial com os conterners de lixo disposto na rua. ....	52
Figura 5-65. Vista frontal do SERPRO. ....	53
Figura 5-66. Vista frontal da CODEVASF ....	53
Figura 5-67. OIT. ....	53
Figura 5-68. Embaixada do Senegal. ....	53
Figura 5-69. Local de provável implantação da Bacia de Detenção. ....	53
Figura 5-81. Saída da galeria para o Lago Paranoá no Iate Clube de Brasília. ....	53
Figura 4-13. Distribuição espacial dos pluviômetros na Bacia do C.O. ....	55
Figura 4-14. Distribuição espacial dos pluviômetros na Bacia do Iate. ....	55
Figura 4-15. Pluviômetros no telhado do prédio SG-12 da UnB. ....	56
Figura 4-16. Pluviômetros no telhado do edifício na SQN106. ....	56
Figura 4-17. Pluviômetro no telhado do DNIT. ....	56
Figura 4-18. Pluviometro no telhado do Iate Clube Brasilia. ....	56
Figura 4-20. ADCP – equipamento para a determinação da curva-chave. ....	57
Figura 4-21. Local onde foi medido a curva-chave da galeria do C.O. ....	57

Figura 4-22. Aparelhos que compoe o ADC.....	58
Figura 4-23. Utilização do ADC em campo.....	58
Figura 4-24. Linígrafo de bóia utilizado para os dois pontos de lançamento.....	59
Figura 4-25. Perfuração no tubo para que a água tivesse acesso livre.....	59
Figura 4-26. Tubulação com quase 5m de comprimento.....	59
Figura 4-27. Ponto de instalação do linígrafo no Iate, destaque para o PV onde havia o acesso à galeria.....	59
Figura 4-28. O local onde o linígrafo foi afixado para armazenamento dos dados.....	59
Figura 4-29. Vista do saída de comunicação.....	59
Figura 4-30. Caixa de concreto que abriga o linígrafo na Bacia do C.O.....	60
Figura 4-31. Caixa de concreto aberta com o linígrafo.....	60
Figura 4-32. Saída do tubo de interligação entre a galeria e o poço da boia.....	60
Figura 4-33. Mapa de localização dos pontos de medição de vazão.....	61
Figura 4-35. Amostrador Automático ISCO 6400.....	62
Figura 4-36. Amostrador automático sem a tampa.....	62
Figura 4-37. Amostrador automático por dentro: com o computador para processamento e com os locais de armazenamento das amostras.....	62
Figura 4-38. Embalagem plástica de 1L para acondicionar as amostras junto com os encaixes azuis padrão para o amostrador.....	62
Figura 4-39. Garrafas plásticas de 1L utilizadas dentro dos amostradores automáticos (2º tipo).....	62
Figura 4-38. Amostrador Automático instalado na Bacia do C.O.....	63
Figura 4-39. Amostrador Automático instalado na Bacia do Iate.....	63
Figura 4-42. Sensor de nível padrão da Isco.....	63
Figura 4-43. Sensor de nível composto pela bóia de mercurio.....	64
Figura 4-44. Detalhe para a fixação do sensor de nível dentro do poço.....	64
Figura 4-45. Fundo do poço que contem o sensor e o linígrafo.....	64
Figura 4-46. Tentativa inicial de instalar o sensor de nível a jusante da galeria de drenagem.....	65
Figura 4-47. Instalação da proteção na parede interna da galeria.....	65
Figura 4-48. Gaiola com o sensor de nível do amostrador automático. Detalhe para a ligação entre a bóia e o amostrador.....	65
Figura 4-49. Interface do SWMM/ EPA.....	68
Figura 4-50. Interface do PCSWMM/ChiWater.....	68
Figura 4-51. Desenho das divisões na sub-bacia do C.O.....	69
Figura 4-52. Exemplos dos tipos de condutos da galeria.....	70
Figura 4-53. Postos pluviometricos inseridos no modelo e as sub-bacias que englobam cada um.....	72
Figura 5-1. Comparação dos dados de chuvas médias acumuladas com os meses de set/12 a mar/13.....	74
Figura 5-2. Comparação do nº médio de dias chuvosos com os dados do ano hidrológico de 2012/2013.....	75
Figura 5-3. Localização do pluviômetro do Inmet comparado com as sub-bacias em estudo.....	75
Figura 5-4. Comparação dos Hietogramas mensal do pluviógrafo na sub-bacia do C.O de set/12 a fev/13.....	76
Figura 5-5. Intensidade da precipitação no pluviógrafo da CAESB a cada 10 min.....	76
Figura 5-6. Intensidade da precipitação no pluviógrafo da 106N a cada 5 min.....	77
Figura 5-7. Intensidade da precipitação no pluviógrafo do SG 12 a cada 5 min.....	77

Figura 5-78. Comparação dos Hietogramas mensal do pluviometro na sub-bacia do Iate de set/12 s fev/13.....	78
Figura 5-9. Intensidade da precipitação no pluviógrafo da 303N a cada 5 min. ....	78
Figura 5-80. Intensidade da precipitação no pluviógrafo da DNIT a cada 5 min. ....	78
Figura 5-81. Intensidade da precipitação no pluviógrafo do Iate a cada 5 min.....	79
Figura 5-82. Curva idf para Brasília.....	80
Figura 5-83. Inundação provocada pela chuva do dia 19/11/2012.....	81
Figura 5-14. Exemplo da espacialidade do volume acumulado precipitação na sub-bacia do C.O.....	82
Figura 5-15. Exemplo da espacialidade do volume acumulado precipitação na sub-bacia do Iate. ....	82
Figura 5-16. Hidrograma na sub-bacia do C.O. ....	83
Figura 5-87. Hidrograma quando a água do Lago Paranoá entrou na galeria de drenagem do C.O.....	84
Figura 5-18. Hidrograma do evento do dia 23/01/13 na sub-bacia do C.O.....	84
Figura 5-19. Sequência de chegada da onda de cheia na sub-bacia do C.O. Fonte: Silva Junior, 2010. ....	85
Figura 5-20. Encontro das águas pluviais com o Lago Paranoá.....	85
Figura 5-91. Hidrograma na sub-bacia do Iate. ....	87
Figura 5-92. Hidrograma na sub-bacia do Iate do evento 21/09/2012. ....	88
Figura 5-93. Tentativa de medição de vazão para a determinação da curva-chave. ....	88
Figura 5-94. Onda de Cheia na galeria do Iate. ....	88
Figura 5-25. Análise da Turbidez ao longo na sub-bacia do C.O. ....	95
Figura 5-26. Análise da Turbidez por evento na sub-bacia do C.O. ....	95
Figura 5-27. Polutograma da turbidez e hidrograma no evento do dia 14/01/2013 na sub-bacia do C.O. ....	96
Figura 5-28. Polutograma da turbidez e hidrograma no evento do dia 01/11/2012 na sub-bacia do C.O. ....	96
Figura 5-29. Polutograma da turbidez e hidrograma no evento do dia 15/01/13 na sub-bacia do Iate.....	97
Figura 5-30. Análise da Turbidez ao longo do tempo na sub-bacia do Iate.....	98
Figura 5-31. Análise da Turbidez por evento na sub-bacia do Iate.....	98
Figura 5-32. Amostras do dia 09/10/12 na bacia do Iate.....	99
Figura 5-33. Amostras do dia 17/10/12 na sub-bacia do Iate.....	99
Figura 5-34. Evento 24/02/12 na sub-bacia do C.O. ....	99
Figura 5-35. Encontro das águas pluviais oriundas da drenagem urbana na sub-bacia do Iate. ....	100
Figura 5-36. Detalhe do encontros das águas no exultório do Iate.....	100
Figura 5-37. Encontro das águas pluviais oriundas da drenagem urbana na sub-bacia do C.O.....	100
Figura 5-38. Análise da Condutividade ao longo do tempo na sub-bacia do C.O. ....	100
Figura 5-39. Análise da Condutividade por evento na sub-bacia do C.O. ....	101
Figura 5-40. Polutograma da condutividade e hidrograma no evento do dia 24/02/2013 na sub-bacia do C.O. ....	102
Figura 5-41. Análise da Condutividade ao longo do tempo em cada evento na sub-bacia do Iate. ....	103
Figura 5-112. Análise da Condutividade por evento na sub-bacia do Iate.....	103
Figura 5-43. Polutograma da condutividade e hidrograma no evento do dia 09/10/2013 na sub-bacia do Iate. ....	104

Figura 5-44. Análise das formas dos sólidos ao longo do tempo na sub-bacia do C.O.	105
Figura 5-45. Polutograma da condutividade e hidrograma no evento do dia 29/01/2013 na sub-bacia do C.O.	105
Figura 5-46. Análise dos SS em cada evento na sub-bacia do C.O.	106
Figura 5-47. CME do SS em cada evento na sub-bacia do C.O.	107
Figura 5-48. Análise das formas de sólidos ao longo do tempo na sub-bacia do Iate.	108
Figura 5-49. Polutograma da condutividade e hidrograma no evento do dia 03/11/13 na sub-bacia do Iate.	108
Figura 5-50. Análise das formas dos sólidos suspensos em cada evento na sub-bacia do Iate.	109
Figura 5-51. CME do SS em cada evento na sub-bacia do Iate.	109
Figura 5-52. Análise das formas de Nitrogênio ao longo do tempo em cada evento na sub-bacia do C.O.	111
Figura 5-53. Polutograma das formas de nitrogênio e hidrograma no evento do dia 01/11/12 na sub-bacia do C.O.	111
Figura 5-54. Polutograma das formas de nitrogênio e hidrograma no evento do dia 08/01/13 na sub-bacia do C.O.	111
Figura 5-55. Análise do nitrogênio total em cada evento na sub-bacia do C.O.	113
Figura 5-56. CME do N em cada evento na sub-bacia do C.O.	113
Figura 5-57. Análise das formas de Nitrogênio ao longo do tempo na sub-bacia do Iate.	114
Figura 5-58. Análise do nitrogênio total em cada evento na sub-bacia do Iate.	115
Figura 5-59. Polutograma das formas de nitrogênio e hidrograma no evento do dia 17/10/12 na sub-bacia do C.O.	115
Figura 5-60. CME do nitrogênio total em cada evento na sub-bacia do Iate.	116
Figura 5-61. Análise das formas de Fósforo ao longo do tempo em cada evento na sub-bacia do C.O.	117
Figura 5-62. Análise do PT em cada evento na sub-bacia do C.O.	118
Figura 5-63. Polutograma das formas de fósforo e hidrograma no evento do dia 14/01/13 na sub-bacia do C.O.	118
Figura 5-64. Polutograma das formas de fósforo e hidrograma no evento do dia 24/02/13 na sub-bacia do C.O.	118
Figura 5-65. CME Fósforo Total em cada evento na sub-bacia do C.O.	119
Figura 5-66. Análise das formas de Fósforo ao longo do tempo em cada evento na sub-bacia do Iate.	120
Figura 5-137. Polutograma das formas de P e hidrograma no evento do dia 17/10/12 na sub-bacia do Iate.	121
Figura 5-138. Polutograma das formas de P e hidrograma no evento do dia 17/11/12 na sub-bacia do Iate.	121
Figura 5-69. Análise do Fósforo Total em cada evento na sub-bacia do Iate.	121
Figura 5-70. CME PT em cada evento na sub-bacia do Iate.	122
Figura 5-71. Análise da DQO ao longo do tempo na sub-bacia do C.O.	123
Figura 5-72. Análise da DQO em cada evento na sub-bacia do C.O.	124
Figura 5-143. Polutograma da DQO e hidrograma no evento do dia 14/01/13 na sub-bacia do C.O.	124
Figura 5-144. Polutograma da DQO e hidrograma no evento do dia 24/02/13 na sub-bacia do C.O.	124
Figura 5-75. CME da DQO em cada evento na sub-bacia do C.O.	125
Figura 5-146. Análise da DQO ao longo do tempo na sub-bacia do Iate.	126

Figura 5-147. Polutograma da DQO e hidrograma no evento do dia 09/10/12 na sub-bacia do Iate.....	126
Figura 5-148. Polutograma da DQO e hidrograma no evento do dia 08/01/13 na sub-bacia do Iate.....	126
Figura 5-79. Análise da DQO por evento na sub-bacia do Iate.....	127
Figura 5-80. CME da DQO em cada evento na sub-bacia do Iate. ....	128
Figura 5-151. Turbidez e sólidos suspensos ao longo do tempo na sub-bacia do C.O..	129
Figura 5-152. Turbidez e sólidos suspensos ao longo do tempo na sub-bacia do Iate. .	129
Figura 5-153. Turbidez e solidos suspensos no evento 01/11/2012 na sub-bacia do C.O. ....	129
Figura 5-154. Turbidez e solidos suspensos no evento 24/02/2013 na sub-bacia do C.O. ....	129
Figura 5-155. Turbidez e solidos suspensos no evento 17/11/2012 na sub-bacia do Iate. ....	130
Figura 5-156. Turbidez e solidos suspensos no evento 29/01/2013 na sub-bacia do Iate. ....	130
Figura 5-157. Correlação entre a Turbidez e SS na sub-bacia do C.O.....	130
Figura 5-88. Correlação entre a Turbidez e SS na sub-bacia do Iate. ....	130
Figura 5-159. Análise dos sólidos suspensos e a vazão na sub-bacia do C.O. ....	130
Figura 5-160. Análise dos sólidos suspensos e a vazão na sub-bacia do Iate.....	130
Figura 5-161. Condutividade e Sólidos Dissolvidos no evento 12/01/2013 na sub-bacia do C.O.....	132
Figura 5-162. Sólidos Dissolvidos e Nutrientes no evento 12/01/2013 na sub-bacia do C.O.....	132
Figura 5-163. Condutividade e Sólidos Dissolvidos no evento 03/11/12 na sub-bacia do Iate .....	132
Figura 5-164. Sólidos Dissolvidos e Nutrientes no evento 03/11/12 na sub-bacia do Iate .....	132
Figura 5-165. Condutividade e Nutrientes no evento 26/11/12 na sub-bacia do C.O..	133
Figura 5-166. Condutividade e Nutrientes no evento 05/12/12 na sub-bacia do Iate. .	133
Figura 5-167. Análise espacial da precipitação do evento do dia 17/11/12. ....	137
Figura 5-168. Cargas de PT, SS, N e DQO que aportaram no Lago Paranoá em cada evento na sub-bacia do C.O.....	138
Figura 5-169. Curva M(V) da DQO dos eventos na sub-bacia do C.O.....	141
Figura 5-170. Curva M(V) do P dos eventos na sub-bacia do C.O.....	142
Figura 5-171. Curva M(V) do SS dos eventos na sub-bacia do C.O.....	142
Figura 5-172. Curva M(V) do N dos eventos na sub-bacia do C.O. ....	143
Figura 5-173. Cargas de Pt, SS, N e DQO que aportaram no Lago Paranoá em cada evento na sub-bacia do Iate. ....	145
Figura 5-174. Curva M(V) da DQO dos eventos na sub-bacia do Iate. ....	147
Figura 5-175. Curva M(V) do N dos eventos na sub-bacia do Iate.....	147
Figura 5-176. Curva M(V) do P dos eventos na sub-bacia do Iate. ....	148
Figura 5-177. Curva M(V) dos SS dos eventos na sub-bacia do Iate.....	148
Figura 5-178. Hietograma do evento 19/01/13.....	149
Figura 5-179. Distribuição espacial do vol. acum. da precipitação do evento 19/01/13. ....	150
Figura 5-180. Gráfico dos resultados da Qobs e a Qsim para o modelo sem estar calibrado. ....	150
Figura 5-181. Gráfico dos resultados da Qobs e a Qsim. ....	151
Figura 5-182. Qobs x Qsim do evento do dia 19/01/2013. ....	152

Figura 5-183. Análise da porcentagem da área impermeável do modelo calibrado.....	153
Figura 5-184. Qobs x Qcal para o evento do dia 19/11/2013.....	154
Figura 5-185. Qobs x Qsim para o evento do dia 23/01/2013.....	155
Figura 5-186. Qobs x Qcal para o evento do dia 05/12/2012.....	156
Figura 5-187. Qobs x Qsim para o evento do dia 17/11/2012.....	156
Figura 5-188. Qobs x Qcal para o evento do dia 16/01/2013.....	158
Figura 5-189. Ampliação da Qobs x Qcal para o evento do dia 16/01/2013 no 1º pico até a subida do 2º pico.....	158
Figura 5-190. Qobs x Qcal para o evento do dia 28/12/2012.....	159
Figura 5-191. Qobs x Qcal para o evento do dia 15/01/2013.....	159
Figura 5-192. Curva-chave empírica da DQO para o evento do dia 19/01/13 na sub-bacia do C.O. ....	163
Figura 5-193. Simulação para a concentração da DQO para o evento do dia 19/01/13, juntamente com a Q.....	163
Figura 5-194. Comparação entre as concentrações de DQO ( $CDQO_{obs}$ e $CDQO_{sim}$ ) sem calibração.....	164
Figura 5-195. Comparação entre as cargas de DQO ( $WDQO_{obs}$ e $WDQO_{sim}$ ) sem calibração.....	164
Figura 5-196. Comparação entre as concentrações de DQO para o evento do dia 19/01/13.....	165
Figura 5-197. Correlação entre a $CDQO_{obs}$ e $CDQO_{sim}$ para o evento do dia 19/01/13	165
Figura 5-198. Comparação entre as cargas de DQO ( $WDQO_{obs}$ e $WDQO_{sim}$ ) após a calibração.....	165
Figura 5-199. Correlação entre as W de DQO do evento calibrado.....	165
Figura 5-200. Validação das concentrações de DQO para o evento do dia 08/01/13. .	166
Figura 5-201. Correlação entre a a $CDQO_{obs}$ e $CDQO_{sim}$ para o evento do dia 08/01/13.....	166
Figura 5-202. Validação das cargas de DQO para o evento do dia 08/01/13.....	166
Figura 5-203. Correlação entre as W de DQO do evento do dia 08/01/13.....	166
Figura 5-204. Curva-chave empírica da DQO para o evento do dia 19/01/13 na sub-bacia do C.O. ....	167
Figura 5-205. Polutograma dos SS e Hidrograma simulados para o evento do dia 19/01/13.....	167
Figura 5-206. Polutograma dos SS sim e SS obs. ....	167
Figura 5-207. Compareação da W SS sim e a W SS obs. ....	167

## Lista de Tabelas

Tabela 3-1– Alguns Parâmetros Físico-químicos de qualidade de água. (Derisio, 1992; Piveli, 2005; Von Sperling, 2005; Finotti <i>et al.</i> , 2009) .....	4
Tabela 3-2 – Impactos referentes aos diferentes usos e ocupação do solo.....	9
Tabela 3-3. Grupos Hidrológicos de solos. (Fonte:.....	19
Tabela 3-4. Condições de umidade antecedente do solo. (Fonte: .....	19
Tabela 3-5. Cálculos do escoamento no SWMM. ....	21
Tabela 3-6. Características de Poluentes. ....	23
Tabela 3-7. Opções de cálculo de acumulação dos poluentes no SWMM.....	23
Tabela 3-8. Opções de cálculo de lixiviação dos poluentes no SWMM. ....	24
Tabela 3-9. Fenômenos simulados no SWMM. Fonte: Rossman, 2010. ....	25
Tabela 4-1 – Características da Bacia do C.O. e da bacia do Iate.....	34
Tabela 4-2 – Características da Bacia do C.O. e da bacia do Iate.....	57
Tabela 4-3. Características dos linígrafos instalados .....	61
Tabela 4-4 – Características dos amostradores instalados.....	63
Tabela 4-5. Resumo dos parâmetros e métodos de análises de qualidade de água utilizados.....	65
Tabela 4-6. Resumo dos itens selecionados no SWMM para a simulação. ....	69
Tabela 4-7 – Dados de entrada do SWMM(Kim <i>et al.</i> , 2007) .....	70
Tabela 4-8. Parâmetros a editar nas sub-bacias.....	70
Tabela 4-9. Resumo das Análises Estatísticas utilizadas. ....	73
Tabela 5-1. Tempos de Retorno para cada evento de chuva. ....	80
Tabela 5-2. Dados utilizados para verificar a utilização da equação do escoamento crítico para o cálculo da vazão na sub-bacia do Iate. ....	86
Tabela 5-3. Comparação entre os dados de vazão calculada pelo método racional.....	86
Tabela 5-4 – Eventos na sub-bacia do C.O. ....	89
Tabela 5-5. Eventos na sub-bacia do Iate. ....	89
Tabela 5-6. Vazões máximas encontrada em cada evento na sub-bacia do C.O.....	90
Tabela 5-7. Vazões máximas encontrada em cada evento na sub-bacia do Iate. ....	91
Tabela 5-8. Análise de uma amostra de água no período de estiagem. Fonte: Gomes, 2004. ....	92
Tabela 5-9. Características do esgoto doméstico para o DF. Fonte: CAESB, 2011. ....	92
Tabela 5-10. Parâmetros analisados antes e depois de um lançamento na galeria de drenagem do Iate. ....	93
Tabela 5-11. Resumo geral do monitoramento de Qualidade da água.....	94
Tabela 5-12. Parâmetros estatísticos para os valores de turbidez. ....	96
Tabela 5-13. Parâmetros estatísticos para os valores de turbidez. ....	98
Tabela 5-14. Parâmetros estatísticos para os valores da condutividade na sub-bacia do C.O.....	101
Tabela 5-15. Parâmetros estatísticos para os valores da condutividade na sub-bacia do Iate. ....	102
Tabela 5-16. Parâmetros estatísticos para os valores dos sólidos na sub-bacia do C.O. ....	107
Tabela 5-17. Parâmetros estatísticos para os valores dos sólidos na sub-bacia do Iate. ....	110
Tabela 5-18. Parâmetros estatísticos as formas de Nitrogênio.....	112
Tabela 5-19. Parâmetros estatísticos as formas de P na sub-bacia do C.O. ....	119
Tabela 5-20. Parâmetros estatísticos as formas de Fósforo na sub-bacia do Iate.....	120
Tabela 5-21. Parâmetros estatísticos as formas de DQO na sub-bacia do C.O.....	123

Tabela 5-22. Parâmetros estatísticos as formas de DQO na sub-bacia do Iate. ....	127
Tabela 5-23. Dados da correlação na sub-bacia do C.O e na do Iate. ....	131
Tabela 5-24. Dados da correlação condutividade x nutrientes na sub-bacia do C.O e na do Iate. ....	133
Tabela 5-25. Cargas de todos os poluentes em cada evento na sub-bacia do C.O. ....	136
Tabela 5-26. Cargas do afluente e efluente da ETE Norte para o mês de novembro e cargas da sub-bacia do C.O. ....	139
Tabela 5-27. Comparação entre as cargas no mês de novembro. ....	139
Tabela 5-28. Comparação entre as cargas no mês de janeiro. ....	139
Tabela 5-29. Cargas de cada poluentes em cada evento na sub-bacia do Iate. ....	144
Tabela 5-30. Comparação entre as cargas da sub-bacia do Iate com o afluente e efluente da ETE Norte, nos meses de janeiro e novembro. ....	146
Tabela 5-31. Dados do evento do dia 19/01/13. ....	149
Tabela 5-32. Dados estatísticos do evento do dia 19/01/13 sem calibração. ....	150
Tabela 5-33. Dados estatísticos do evento do dia 19/01/13. ....	152
Tabela 5-34. Análise do C para o evento do dia 19/11/2012. ....	155
Tabela 5-35. Análise do C para o evento do dia 23/01/2013. ....	156
Tabela 5-36. Resumo do resultado da verificação para eventos que não obtiveram resultados satisfatórios. ....	157
Tabela 5-37. Resumo dos bons resultado da verificação do modelo calibrado. ....	159
Tabela 5-38. Resumo do todos os resultado da verificação. ....	160
Tabela 5-39. Coeficiente de escoamento dos eventos. ....	161
Tabela 5-40. Coeficientes da equação EXP da DQO em cada uso e ocupação para a lavagem dos poluentes. ....	164
Tabela 5-41. Coeficientes da equação EXP da DQO em cada uso e ocupação para a acumulação dos poluentes. ....	164

## Lista de Siglas e Símbolos

ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento  
ADCP - Acoustic Doppler Current Profiler  
AI – Área Impermeável  
Al – Alumínio  
ANA – Agência Nacional de Águas  
BH – Bacia Hidrográfica  
BMP's - Best Management Practices  
C – coeficiente de escoamento  
C – concentração do poluente  
Caesb – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal  
Cd – Cádmo  
CHWater - Computational Hydraulics International Water  
CLN - comércio local norte  
CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico  
CME - Concentração Média no Evento  
CN - Curva número  
C.O – Centro Olímpico  
Co – Cobalto  
Codevasf - Companhia de desenvolvimento do Vale do São Francisco e Parnaíba  
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente  
Cr - Cromo  
Cu – Cobre  
D Declividade  
DBO - Demanda bioquímica de oxigênio  
DEM - Modelo de elevação digital  
DF – Distrito Federal  
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes  
DNPM -  
DQO - Demanda química de oxigênio  
ETA- Estação de Tratamento de Água  
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto  
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
EPA - *Environmental protection agency*  
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto  
FAP – DF – Fundação de Apoio à Pesquisa do DF  
Fe - ferro  
FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos  
FT - Fósforo total  
GIS - *Geographic information system*  
HRAN. - Hospital Regional da Asa Norte  
HUB – Hospital Universitario de Brasília  
ICC - Instituto Central de Ciências  
Idf – Curva intesidade – dração – frequência  
IDH - Índice de desenvolvimento Humano  
Inmet – Instituto Nacional de Metereologia  
ISE - Integral Square Error  
LAA – Laboratório de Análise de Água

Lacen - Laboratório Central de Saúde  
 LID – Low Impact Development  
 MAPLU - Manejo de águas pluviais: monitoramento, modelagem, desenvolvimento de tecnologias de baixo impacto e de instrumentos para a gestão de águas pluviais em meio urbano.  
 MO – Matéria Orgânica  
 MOUSE - *Modelling of Urban Sewers*  
 MQUAL - Modelo de Correlação entre Uso do Solo e a Qualidade da Água  
 MUSLE - Modified Universal Soil Loss Equation  
 n - Coeficiente de rugosidade de Manning  
 N- Nitrogênio  
 Ni – Níquel  
 NOVACAP - Companhia Urbanizadora da Nova capital do Brasil  
 NRCS - National Resources Conservation Service  
 NS - Eficiência de Nash e Sutcliffe  
 NTU - Nefelometric Turbidity Unit  
 OD - Oxigênio dissolvido  
 OEA – Organização dos Estados Americanos  
 OMS – Organização Mundial de Saúde  
 ONU – Organizações das Nações Unidas  
 P – Fósforo  
 PT – Fósforo total  
 PTARH – Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos  
 PDDU - Plano diretor de drenagem urbana  
 pH – Potencial Hidrogeniônico  
 Pb – Chumbo  
 PCSWMM -  
 PLOAD - Pollutant Loading Application Overview  
 PNUMA – Programa Das Nações Unidas Para O Meio Ambiente  
 PTARH – Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos  
 Q – Vazão  
 Qobs – vazão observada  
 Qmáx – vazão máxima  
 Qsim – vazão simulada  
 REMISA - Rede de Monitoramento do Impacto do Uso da Terra sobre os Sistemas Aquáticos em Bacias Hidrográficas da Região Centro-Oeste.  
 Definição de Indicadores de Integridade Ambiental.  
 RMSE – *Root Mean Square Error*  
 SAM - Setor de Administração Municipal  
 SAN - Setor de Autarquias Norte  
 SBN - Setor Bancário Norte  
 SCN - Setor Comercial Norte  
 SCS - Soil Conservation Service  
 SCRN - Setores comerciais residenciais norte  
 SDCN - Setor de Difusão Cultural Norte  
 SEDUMA - Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação  
 SEE – *Standard error of estimate*  
 SEPRO - Serviço Federal de Processamento de Dados  
 Sem - Setor de Embaixadas Nortes  
 SICAD - Sistema Cartográfico do Distrito Federal

SD – Sólidos Dissolvidos  
SS – Sólidos Suspensos  
ST - Sólidos totais  
SIG - Sistema de Informacoes Geográficas  
SGAN - Setor de Grandes Áreas Norte  
SGON - de Garagens Oficiais Norte  
SHCGN - Setor de habitacional de casas geminadas norte  
SHN - Setor Hoteleiro Norte  
SLU (Serviço de Limpeza Urbana  
SMHN - Setor Médico Hospitalar Norte  
SMU -Setor Militar Urbano de Brasília  
SQN – Superquadra Norte  
SRTVN - sETOR Rádio e Televisão Norte  
SWITCH - Sustainable Water Management Improves Tomorrow's Cities' Health  
SUDs - *Sustainable Urban Drainage Systems*  
SWMM - *Storm Water Management Model*  
Tr – Tempo de Retorno  
UnB - Universidade de Brasília  
UCCS - Unidade Central de Coleta Seletiva –  
USDA-ARS – *United State Departament Agriculture - Agricultural Research Service*  
VBMP's - *Vegetated Best Management Practices*  
WSUD - *Water Sensitive Urban Design*  
W – carga do poluente  
Zn - Zinco

# 1. INTRODUÇÃO

A poluição difusa dos recursos hídricos é uma preocupação recente no Brasil. Esse tipo de poluição envolve bacias rurais, mediante o aporte de nutrientes oriundos dos fertilizantes, como também abrange bacias urbanas, que produzem os mais diversos poluentes por meio dos diferentes usos e ocupações do solo.

Nas bacias urbanas, geralmente, esses poluentes são carreados pelas galerias da drenagem urbana que lançam as cargas de poluição difusa nos corpos hídricos sem qualquer tipo de tratamento.

Sabe-se também que medidas contra esse tipo de poluição são complexas devido à diversidade das fontes, que variam de acordo com o uso e ocupação do solo. Outra dificuldade envolve a falta de dados, tanto hidrológicos como de qualidade de água, que são quase inexistentes nesse tipo de bacia. Assim, é importante a realização do monitoramento das águas da drenagem urbana em locais estratégicos e com uma frequência adequada a fim de que se colem informações que possibilitem a caracterização das cargas dos poluentes.

Uma metodologia complementar que esclarece a dinâmica da bacia urbana estudada refere-se à aplicação de modelos matemáticos, utilizando programas computacionais que, com uma calibração satisfatória, podem proporcionar como resultado as prováveis consequências ocasionadas por mudanças nas condições atuais, além de auxiliar no conhecimento da dinâmica dos processos.

Em Brasília, há pouca informação sobre a quantidade e qualidade das águas de drenagem urbana lançadas no lago Paranoá durante eventos de cheias. Essas informações são importantes para caracterização da qualidade das águas do Lago, principalmente considerando sua futura utilização como manancial de abastecimento. Assim, com o objetivo de melhor caracterizar essas águas escolheu-se duas sub-bacias do Plano Piloto de Brasília, com características urbanas distintas, que descarregam as águas da drenagem urbana no Lago Paranoá.

O trabalho foi desenvolvido com intuito de prover informações relevantes para a tomada de decisões dos órgãos responsáveis na implantação de melhores práticas de manejo das águas pluviais urbanas, considerando medidas de caráter sanitário e ambiental.

Essa pesquisa está vinculada a três projetos do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH): REMISA, ÁGUA-DF e o MAPLU, financiados pela FAP-DF, CNPq, CAPES e FINEP.

Este documento está organizado em seis capítulos. O Capítulo 2 contém os objetivos da dissertação e é seguido pelo capítulo 3, de Revisão Bibliográfica, no qual o conteúdo está associado com o referencial teórico e o estado da arte dos tópicos mais importantes referentes ao tema desta dissertação. No capítulo 4 está descrita a metodologia adotada e o capítulo 5 engloba os resultados obtidos durante a pesquisa. No capítulo 6 estão sintetizadas as principais conclusões e recomendações desta dissertação.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar o comportamento quantitativo e qualitativo das águas de drenagem urbana por meio do monitoramento da precipitação, do escoamento superficial e de qualidade de água, em eventos de cheia e pela modelagem matemática, utilizando o modelo SWMM.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Desenvolver técnicas de análise de amostragem de qualidade das águas da drenagem pluvial para determinação da representatividade da amostra.
- Analisar e caracterizar a variação temporal da concentração dos poluentes das ondas de cheias nas galerias de drenagem pluvial.
- Relacionar a variação da concentração dos poluentes com as características dos eventos de precipitação, nº de dias sem chuva antecedentes e do escoamento gerado e as características de uso e ocupação das bacias urbanas;
- Verificar a existência de correlações entre os parâmetros de qualidade da água, como sólidos suspensos com turbidez e os sólidos dissolvidos com condutividade e com os nutrientes, com objetivo de estabelecer o monitoramento contínuo com sensores de condutividade e turbidez.
- Estudar as cargas de poluição produzidas pelo escoamento superficial e lançadas no Lago Paranoá por essas sub-bacias, com objetivo de subsidiar a modelagem matemática.
- Averiguar ocorrência do fenômeno “*first flush*” a fim de estudar a eficiência de medidas estruturais para o tratamento das águas pluviais;
- Aplicar o modelo matemático SWMM e verificar sua aplicabilidade à bacia e seu comportamento na simulação de sedimentos e de qualidade da água.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. QUALIDADE DA ÁGUA

A Lei nº 9.433/97 objetiva assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, com os padrões de qualidade adequados aos possíveis usos e cita, como diretriz geral de ação, a importância de uma gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade.

Por isso, informações como o volume disponível ou vazão de saída, devem estar acompanhadas com o panorama de dados qualitativos, referentes a aspectos físicos, químicos e/ou biológicos, para a determinação de nutrientes, matéria orgânica ou microrganismos que podem alterar as condições de uso de um corpo hídrico.

A combinação dessas características é representada por variáveis como temperatura, turbidez, DQO, os sólidos presentes, a condutividade, o nitrogênio e o fósforo, comentados na Tabela 3-1, que retratam as condições qualitativas em que os recursos hídricos se encontram.

Tabela 3-1– Alguns Parâmetros Físico-químicos de qualidade de água. (Derisio, 1992; Piveli, 2005; Von Sperling, 2005; Finotti *et al.*, 2009)

PARÂMETRO	FONTES, CONCEITOS E IMPORTÂNCIA
<b>Cor</b>	<p>Águas coloridas apresentam, como principal efeito ecológico, a diminuição da penetração de luz solar e, conseqüentemente, diminuição da fotossíntese.</p> <p>A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos dissolvidos.</p> <p>É resultante da dissolução de ferro, manganês, matéria orgânica, e/ou lançamento de efluentes industriais, por isso está associada aos sólidos dissolvidos.</p>
<b>pH</b>	<p>Mede o balanço ácido de uma solução, definido pelo negativo do logaritmo da concentração do íon hidrogênio.</p> <p>Importante por influenciar na distribuição das espécies aquáticas, e por definir as etapas de tratamentos de água e no tratamento de efluentes.</p>
<b>Temperatura</b>	<p>Importante variável de monitoramento de qualidade de água, pois alterações na temperatura podem provocar impactos ecológicos significativos:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• A biota aquática possui faixas de temperaturas ótimas, onde alterações nesse parâmetro podem causar modificações nas migrações, desovas, crescimentos dos organismos, ou até mesmos, mortandades.</li><li>• O aumento da temperatura provoca o aumento da velocidade das reações, em particular as de natureza bioquímica de decomposição de compostos orgânicos; facilita a ação tóxica de muitos elementos e</li></ul>

	<p>compostos, como também diminui a solubilidade de gases dissolvidos na água, em particular o oxigênio, base para a decomposição aeróbia.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Promove a circulação da água por variação de densidade em lagos.</li> </ul>
<b>Condutividade</b>	É a capacidade da água de transmitir corrente elétrica, sendo sensível a presença dos sólidos dissolvidos.
<b>Turbidez</b>	<p>Grau de interferência que um feixe de luz sofre ao atravessar a água, conferindo uma aparência turva.</p> <p>É influenciada pela presença de sólidos em suspensão, como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos (algas, bactérias, plâncton).</p> <p>Aumenta devido à erosão das margens dos rios, lançamentos de esgotos sanitários e diferentes efluentes.</p>
<b>Sólidos</b>	<p>Pode ter origem nos plâncton, algas, detritos orgânicos, Zn, Fe, entre outros, provenientes do processo natural de erosão ou de despejos domésticos e industriais.</p> <p>Os sólidos em suspensão diminuem a transparência das águas, podendo reduzir significativamente a energia luminosa disponível para a fotossíntese, pois conferem turbidez às águas.</p> <p>Os sólidos dissolvidos relacionam-se com os íons diluídos na água, aumentando a condutividade, e indicando a presença de nutrientes.</p>
<b>Oxigênio Dissolvido</b>	<p>É o principal elemento no metabolismo de microrganismos aeróbicos e peixes. Tem sua origem na atmosfera ou na fotossíntese de algas.</p> <p>Baixas concentrações de OD estão relacionadas com altas concentrações de matéria orgânica, alta temperatura das águas, baixa vazão, ausência de corredeiras. E altas concentrações sinalizam a presença de algas.</p> <p>Fundamental para os modelos de autodepuração das águas.</p>
<b>Nitrogênio</b>	<p>É exigido em grande quantidade pelas células vivas de algas e plantas.</p> <p>Pode ter como fonte as lavagens pelas águas pluviais da atmosfera poluída, o escoamento pluvial nas áreas agrícolas com solos fertilizados, ou as áreas urbanas que carregam o nitrogênio sob diversas formas.</p> <p>Contribui para a proliferação de algas: eutrofização.</p> <p>Pode-se associar à idade da poluição, se a origem for as descargas de esgotos, pelas formas como é encontrada:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Quando há predominância das formas orgânicas ou amônia, o foco de poluição se encontra próximo;</li> <li>Se prevalecer nitrito e nitrato as descargas de esgotos encontram-se distantes.</li> </ul> <p>A amônia é um tóxico bastante restritivo à vida dos peixes. Os nitratos são tóxicos e causam a metahemoglobinemia infantil, que é letal para crianças (o nitrato é reduzido a nitrito na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre, tornando o sangue azul).</p>
<b>Fósforo</b>	<p>É um dos principais nutrientes para os processos biológicos, também exigido em grandes quantidades pelas células.</p> <p>Pode ser originado nas descargas de esgotos sanitários: detergentes superfosfatados e descarga fecal, efluentes industriais, ou águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas.</p> <p>O excesso de fósforo pode conduzir, junto como o nitrogênio, a processos de eutrofização.</p>
<b>Matéria Orgânica</b>	<p>Tem como fonte principal a descarga dos efluentes domésticos e consome o oxigênio nas águas.</p> <p>Pode ser determinada por dois métodos indiretos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>DBO –Demanda Bioquímica de Oxigênio: indica o potencial de oxidação da matéria orgânica mediada por bactérias aeróbias.</li> <li>DQO - Demanda Química de Oxigênio: corresponde a técnica para a avaliação da demanda de oxigênio equivalente ao consumo da matéria orgânica medido pela oxidação química, com menor prazo para</li> </ul>

---

determinação (comparado à DBO).

---

<b>Metais Pesados</b>	Apresentam efeitos adversos à saúde humana. Tem como elementos principais o arsênio (As), cádmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), chumbo (Pb), mercúrio (Hg).
	Têm sua fonte principal em veículos automotores, seja por emissões ou deposição nas vias. Encontrados também em efluentes industriais.
	Não são removidos pelos tratamentos de água convencionais.
	São acumulados ao longo da cadeia alimentar, atingindo os seres humanos em quantidades consideráveis.

---

Essas variáveis, citadas na Tabela 3-1, são de grande importância também no monitoramento das águas de bacias urbanas, que estão mais vulneráveis à deterioração devido ao recebimento dos rejeitos da população, como lançamentos de esgotos domésticos ou industriais, como também resíduos sólidos e líquidos carreados pela água da chuva.

Na Austrália, por exemplo, as águas pluviais urbanas foram investigadas porque estavam aportando nas águas costeiras do Pacífico e percebeu-se que a qualidade dessas águas estavam influenciando negativamente os recifes, prejudicando o turismo da região e assim afetando a economia (Poustie *et al.*,2011).

Outro problema com a qualidade das águas pluviais urbanas foi abordado no estudo realizado por Wong (2011), em Singapura. A justificativa para o desenvolvimento do trabalho era o fato de que a qualidade das águas pluviais oriundas da drenagem urbana estava prejudicando a escolha de uma baía como um possível manancial. Assim, adotaram-se técnicas conhecidas como WSUD (*Water Sensitive Urban Design – Projetos Urbanos Hidricamente Sensíveis*) para auxiliar na manutenção da qualidade do sistema.

Percebe-se que a importância desse tema para a cidade de Brasília assemelha-se ao caso de Singapura, visto que o Lago Paranoá será utilizado como fonte de abastecimento e que as águas da drenagem pluvial está prejudicando a sua qualidade. Por isso, é necessária a realização de estudos sobre essas águas urbanas.

### 3.2. ÁGUAS URBANAS

As águas pluviais urbanas possuem um destaque, normalmente, negativo, por serem responsáveis pelas inundações, causando transtornos à população. No Brasil, infelizmente, as chuvas são vistas como “vilão da natureza” e não faltam exemplos de inundações em áreas urbanas em grandes cidades como São Paulo, Rio de Janeiro, Porto Alegre e inclusive Brasília, conforme observado na Figura 3-1, no caso ocorrido em maio de 2011 no Instituto Central de Ciências (ICC) na Universidade de Brasília, onde o prédio principal teve o subsolo completamente inundado.



Figura 3-1 . Inundação no prédio principal da Universidade de Brasília em 2011.

Brasília, apesar de ser uma cidade planejada e com uma urbanização estrategicamente organizada, vem apresentando um aumento no número de pontos de alagamento. A ADASA (Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal) tem se mostrado atenta e instaurou a Resolução nº 009 de 2011, que consiste nos pedidos de outorga de águas pluviais. O objetivo dessa resolução é reduzir os impactos causados pela impermeabilização com a urbanização da cidade, controlando o lançamento de águas pluviais que é efetuado diretamente em corpos hídricos superficiais ou que tenha sua vazão proveniente de empreendimento que altera o grau permeabilidade do solo, no qual foi estipulada a vazão máxima de lançamento de 24,4 L/(s.ha).

Além da questão do escoamento gerado, a qualidade também é abordada com o controle da poluição difusa na superfície impermeabilizada, que deverá ser retida em um reservatório, com o objetivo de reduzir a concentração de poluentes da água a ser lançada no corpo hídrico receptor.

Essas aplicações estão baseadas no conceito de drenagem urbana sustentável, que dentre seus princípios, estabelece que os novos empreendimentos não podem aumentar a vazão máxima de jusante e que o planejamento e controle dos impactos existentes devem ser elaborados considerando a bacia como um todo (Tucci, 2005a).

Esse novo conceito deve ser aplicada nos projetos de sistemas de drenagem urbana, que, após uma análise de custo-eficiência, deve englobar a prevenção de inundações por meio da redução do escoamento superficial. Devem ser adicionados também, procedimentos que incluem condições ecológicas para águas receptoras, definindo as cargas de poluição aceitáveis (Blumensaat *et al.*, 2011). Tudo isso, em substituição aos projetos de rede de drenagem que apresentam a construção excessiva de canais e condutos, e apenas transferem o problema de um local para outro.

Preuss *et al.* (2011) sugerem a conciliação de medidas estruturais (obras hidráulicas tradicionais), não-estruturais (instrumentos de gestão), e alternativas compensatórias (estratégias de amortecimento ou infiltração das águas de cheia) para a drenagem urbana. Aconselhou-se, também, a renaturalização dos cursos d'água e a adoção de sistemas que melhorem a infiltração por meio de técnicas compensatórias para o controle da produção do escoamento na fonte (reservatórios domiciliares, jardins de chuva e telhados armazenadores), no sistema viário (valas e valetas de retenção e infiltração, trincheira de infiltração, poço de infiltração, armazenamento em áreas de estacionamento, pavimentos permeáveis) e a jusante (bacias de retenção e bacias de infiltração), assim como a utilização combinada das mesmas.

De tal modo, é necessária a realização de estudos que possam identificar as principais características dessas águas, que, dentre diversos fatores, dependem do uso e ocupação do solo da bacia de onde se originam os poluentes e sedimentos das cargas difusas.

### **3.2.1. Uso e ocupação do solo**

A má distribuição do uso e ocupação nas cidades, sem planejamento, promove uma infraestrutura urbana inadequada, com deficiências nos serviços de saneamento básico, o que influencia nas qualidades dos corpos hídricos urbanos que se tornam receptores de

efluentes domésticos sem tratamento e efluentes industriais. Como também há a questão dos resíduos sólidos e dos sedimentos, pois quando associados às águas pluviais, são carregados nas vias públicas, e se transferem para as galerias de drenagem – quando não as obstruem – e alcançam os recursos hídricos.

A poluição das águas do escoamento superficial é função principalmente do tipo de ocupação do solo (Ahlman, 2006). Existem diferenças de produção de cargas de poluição entre zonas urbanas, comerciais, industriais ou comerciais. Áreas residenciais mais densas levam a maiores áreas impermeabilizadas, e em consequência geram escoamentos mais velozes e com maior força de arraste, ao passo que zonas residenciais menos densas geram escoamentos mais lentos e com menor força de arraste. Isto pode levar a concentrações diferentes de poluentes (Baptista e Nascimento, 2005).

Cada bacia hidrográfica apresenta-se particionada em diferentes usos e ocupações do solo, ou seja, pode possuir características urbanas, rurais e industriais, por exemplo. E cada uso apresenta as suas características, como densidade populacional de ocupação, horário de funcionamento, renda per capita ou área de infiltração, gerando diferentes cargas difusas em cada lote.

Na Tabela 3-2 foram organizados os principais impactos que os diferentes usos e ocupações do solo podem causar nos recursos hídricos.

Tabela 3-2 – Impactos referentes aos diferentes usos e ocupação do solo.

<b>USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS</b>	<b>IMPACTOS NOS RECURSOS HÍDRICOS</b>
<b>Urbano</b>	Modifica o ciclo hidrológico por meio da construção de ruas pavimentadas, telhados, calçadas, e pátios, que oferecem menor resistência ao escoamento superficial e diminui a infiltração no solo. Como consequência, há o aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial, alterando o hidrograma na redução no tempo de pico e do escoamento de base, e aumento da vazão de pico (Garcia, 2005). Altera a qualidade dos corpos hídricos, principalmente devido ao lançamento de esgotos domésticos <i>in natura</i> , como também resíduos sólidos urbanos, oriundos também das atividades comerciais com a presença de elementos tóxicos como oficinas de veículos. Provoca o aumento da produção de sedimentos (Minella e Merten, 2006).
<b>Agrícola</b>	Induz o desmatamento das bacias hidrográficas, desenvolve processos erosivos do solo, o empobrecimento das pastagens nativas, e a redução nas reservas de água do solo (Rebouças, 2006). Provoca o aumento da produção de sedimentos (Minella e Merten, 2006).
<b>Industrial</b>	Lançam, a cada ano, entre 300 e 400 milhões de toneladas de metais pesados, solventes, lodo tóxico e resíduos sólidos nas águas do mundo (ANA e PNUMA, 2011).
<b>Atividades de</b>	Geram desmatamentos e grande movimentação de terra, resultando na erosão

<b>Mineração e perfuração</b>	do solo, no carreamento de materiais para os corpos d'água. (Bonumá <i>et al.</i> , 2008).
	Aumentam o nível de alguns micropoluentes inorgânicos tóxicos, entre eles os metais pesados (Von sperling, 2005).
	Liberam grandes quantidades de resíduos e subprodutos quando há a falta de mecanismos adequados para o descarte final.

Porto (1995) indica que a carga poluente das águas de drenagem urbanas, durante uma cheia urbana, pode chegar até a 80% da carga do esgoto doméstico. O lixo, conjugado com a produção de sedimentos e com a lavagem das ruas, exige procedimentos de combate criativos com custos razoáveis para evitar que, no início do período chuvoso, a qualidade dos cursos d'água seja ainda mais deteriorada. Infelizmente, os grandes investimentos existentes nos programas de recuperação ambiental das metrópoles brasileiras estão ainda no estágio de reduzir somente a carga do de fontes pontuais (lançamentos de efluentes) (Tucci, 2005a) que até hoje a situação não evoluiu significativamente.

Além do crescimento demográfico e a ocupação dos espaços, as mudanças climáticas também poderão ampliar esses impactos, ao mesmo tempo em que apresentarão novos desafios para a manutenção da qualidade da água (ANA e PNUMA, 2011). Os aspectos climáticos são muitos e importantes, no entanto o uso e ocupação do solo é um efeito provocado exclusivamente pela atividade antrópica, ou seja, passível a regulamentação e controle (Dornelles, 2003).

### **3.2.2. Cargas Difusas**

As cargas de poluição são definidas como o produto entre a concentração do poluente na água e a vazão de descarga, em um determinado intervalo de tempo. Na maioria dos casos, as medidas de concentração das variáveis de qualidade da água são promovidas de forma discreta e espaçadas ao longo do tempo, enquanto que os valores de vazões são obtidos de maneira frequente (pelo menos, diária), quando existe estação para tal fim.

Essas cargas de poluição nas águas podem ser lançadas nos corpos hídricos sob duas formas: pontuais ou difusas. As cargas pontuais se devem principalmente aos efluentes

das indústrias, e de estações de tratamento de esgoto. Geralmente, são mais fáceis de serem identificadas, o que torna o controle mais eficiente e rápido (Araújo, 2005).

Já as cargas difusas ocorrem devido ao escoamento superficial distribuído ao longo das bacias hidrográficas. Essas cargas destacam-se pela alta variabilidade na concentração de poluentes lançados nos corpos d'água, variam em termos de magnitudes durante os eventos de precipitação, ao longo de um mesmo evento e ainda quanto ao tipo de área urbana, como por exemplo, residencial, industrial ou comercial (Porto, 1995). Apesar da infraestrutura urbana fazer com que as cargas sejam lançadas nos corpos hídricos de modo pontual pelas redes de drenagem urbana pluvial que lançam em um único local no corpo hídrico (ponto de descarga), em função da origem da carga, o lançamento pontual não descaracteriza o tipo de poluição difusa.

Outra definição encontrada na literatura foi dada por Novotny (1991) que estabelece cinco condições que caracterizam as fontes difusas de poluição: 1 - O lançamento da carga poluidora é intermitente e está relacionado à precipitação; 2 - Os poluentes são transportados a partir de extensas áreas; 3 - As cargas poluidoras não podem ser monitoradas a partir de seu ponto de origem, mesmo porque sua origem exata é difícil de ser identificada; 4 - O controle da poluição de origem difusa obrigatoriamente deve incluir ações sobre a área geradora da poluição, ao invés de incluir apenas o controle no lançamento de efluente; 5- É difícil o estabelecimento de padrões de qualidade para o lançamento do efluente, uma vez que a carga poluidora lançada varia com a intensidade e a duração do evento meteorológico, a extensão da área de produção naquele específico evento, e outros fatores que tornam a correlação vazão x carga poluidora praticamente impossível de ser estabelecida.

O relatório “Inventário Nacional de Qualidade da Água” afirmou que 30% dos casos identificados de impactos na qualidade da água são atribuídos às descargas de enxurradas ou de fontes difusas. Estudos realizados por Vieira (2008), Ferreira (2008) e Pimentel (2009) confirmaram em cidades brasileiras o potencial poluidor causados pelas cargas difusas. Baird e Jennings (1996), Lee e Bang (2000), Choi *et al.*(2006), entre outros, também acompanharam, por meio do monitoramento, o comportamento da qualidade de águas durante a época chuvosa realizando diferentes análises com essas águas.

Mesmo após investigações detalhadas, continuam a existir muitas incertezas sobre o processo de poluição gerado pelas enxurradas. Os processos de origem difusa são intrinsecamente difíceis e complexos de se modelar devido à natureza estocástica do fenômeno, que depende de processos como geração, acumulação e transporte de poluentes. Por essa razão, é de se esperar que o processo estudado não possa ser previsto de forma puramente determinística (Prodanoff, 2005).

Se o corpo receptor for um lago, há uma preocupação especial com as cargas de nutrientes, que podem causar eutrofização, pois diferentes problemas nos recursos hídricos são associados à esse fenômeno, principalmente porque são formadas grandes quantidades de algas e plantas (Von Sperling, 2005). Consequentemente há uma redução da transparência da água, e devido à respiração dessas espécies pode ocorrer uma diminuição dos níveis de oxigênio com implicações na sobrevivência de outros organismos; como também o aumento dos níveis de dióxido de carbono, que pode alterar o pH da água. Também deve-se enfatizar que há espécies de algas que podem causar sabor, odor e produzir substâncias tóxicas ao ser humano, por exemplo, as cianobactérias (Smaha e Gobbi, 2003).

### **3.2.3. Transporte de sedimentos**

O sedimento é considerado um tipo de resíduos que é gerado pela erosão do solo, causada pela desagregação das partículas em decorrência da intensidade da precipitação e carregado para os sistemas de escoamento (Merten e Poletto, 2006).

Já se percebeu que as principais consequências ambientais da produção de sedimentos referem-se ao assoreamento das seções de canalizações de drenagem, com redução da capacidade do escoamento de condutos, rios e lagos urbanos, bem como o transporte de poluentes agregado ao sedimento, que contaminam as águas pluviais (Merten e Poletto, 2006).

Essa produção de sedimentos varia com o desenvolvimento urbano, que, de acordo com Tucci (2005a), diferem em quatro estágios, desde a fase de pré-desenvolvimento, quando a bacia hidrográfica naturalmente produz uma quantidade de sedimentos

transportada pelos rios em razão das funções naturais do ciclo hidrológico. Segue-se a fase inicial de desenvolvimento urbano, quando ocorre uma modificação da cobertura da bacia, pela retirada da sua proteção natural, o solo fica desprotegido e a erosão aumenta no período chuvoso, aumentando também a produção de sedimentos. Em um estágio intermediário, ainda existe importante movimentação de terra resultante de novas construções e a parcela de resíduos sólidos se soma aos sedimentos. Por último, tem-se a fase de área desenvolvida, quando a superfície urbana está consolidada, resultando numa produção residual de sedimentos provocada pelas áreas não impermeabilizadas, mas a produção de lixo urbano chega ao seu máximo.

A necessidade de preservação da qualidade da água deu origem às pesquisas relacionadas aos aspectos de qualidade dos sedimentos. Muitas vezes, apenas a quantidade de sedimentos presente num corpo hídrico não explica a redução de sua qualidade. Tornou-se necessário entender também o grau de contaminação exercido pelos sedimentos na drenagem (Mello, 2006).

Assim, é importante que haja mais estudos sobre os sedimentos, pois Poletto (2007) detectou que os metais analisados (Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Ni e Zn) e o arsênio apresentaram concentrações totais elevadas em bacias urbanas, evidenciando a contribuição da ação antrópica no processo de enriquecimento de metais nos sedimentos urbanos. Essa pode ser considerada uma grande preocupação visto que estes metais são tóxicos.

Por provocar desequilíbrios ambientais, poluição das águas e assoreamento de corpos hídricos, os sedimentos precisam ser incluídos num estudo de poluição difusa. Uma boa estratégia de avaliação da quantidade dos SS é a correlação entre a turbidez e a concentração de sedimentos, já estudada por muitos e por Lopes (2009) na Bacia do Córrego do Capão Comprido no Distrito Federal. Essa correta correlação é importante no monitoramento e gestão de bacias hidrográficas, já que a medição automática da turbidez pode possibilitar uma estimativa do transporte de sedimento de fácil aquisição viabilizando a estimativa para o período chuvoso.

### 3.3. MONITORAMENTO HIDROLÓGICO

O monitoramento consiste na obtenção de dados oriundos de pontos de amostragem selecionados, de modo a acompanhar a evolução desses pontos ao longo do tempo, fornecendo assim as séries temporais das variáveis medidas (Derísio, 1992).

Uma dificuldade na implantação de um programa de monitoramento contínuo envolve um esforço para alocação de recursos humanos e financeiros. Faz-se necessário, portanto, o empenho no sentido de se buscar redes mínimas representativas de monitoramento, de modo a otimizar a relação custo/benefício, viabilizando sua implementação, inclusive, em bacias de menor porte (Lima, 2004).

A concepção do programa deve considerar os fatores naturais da área (características físicas e hidrometeorológicas da bacia), as fontes de poluição existentes (em função dos usos do solo), os usos da água na bacia e as respectivas legislações (exigências requeridas por cada uso). Como também a facilidade de acesso, a segurança dos equipamentos, entre outras.

A definição dos objetivos também é de grande importância para o desenvolvimento do programa de monitoramento, pois se se deseja compreender a definição da variabilidade da qualidade da água e os tipos de poluentes, por isso se deve selecionar os melhores indicadores a fim de viabilizar o projeto com base na disponibilidade de recursos (humanos, técnicos e financeiros) (Lima, 2004).

A execução do monitoramento da qualidade da água envolve trabalhos de campo, denominados de “operações de monitoramento”, e atividades laboratoriais. As operações compreendem medições *in situ*, técnicas de amostragem e preservação de amostras. Em paralelo ao monitoramento da qualidade da água é importante se promover o monitoramento hidrológico (quantitativo), haja vista que as cargas de poluentes são definidas como o produto entre a concentração desses e a vazão, no dado intervalo de tempo, em determinada seção de rio.

Dados de qualidade de água possibilitam a geração de informações que visam alcançar objetivos sociais, dando suporte a análise de decisão regulatória, ou definir problemas

emergentes/existentes da QA, como também permitir o avanço da compreensão científica (Rickert, 1991 *apud* Prodanoff, 2005).

A amostragem das vazões é difícil de ser definida durante a passagem de uma onda de cheia, e que estes podem representar períodos de grandes flutuações na qualidade da água em uma bacia hidrográfica. Cerca de 90% do fluxo dos sedimentos em suspensão são transportados durante o período de cheia, que corresponde a 10% do tempo (Merten e Poletto, 2006; Silva *et al.*, 2010) em bacias hidrográficas grandes com uso e ocupação diversificados. Entretanto, do ponto de vista ambiental, os períodos de estiagem são geralmente os mais críticos para o sistema.

Os dados hidrológicos em bacias urbanas são praticamente inexistentes, tanto no aspecto quantitativo como qualitativo. Portanto, a aquisição de dados de boa qualidade é essencial para o desenvolvimento e aprimoramento de estudos hidráulicos e hidrológicos nessas sub-bacias (Garcia, 2005).

### **3.4. MODELOS HIDROLÓGICOS**

A intensificação do monitoramento traz subsídios à modelagem, uma ferramenta de auxílio à solução de problemas. Com a aplicação de modelos hidrológicos e hidráulicos é possível a simulação de cenários futuros, proporcionando o surgimento de soluções para contornar possíveis impactos (Garcia, 2005; Uzeika, 2009).

Aprígio e Brandão (2011) analisaram os modelos hidrológicos para simulação da poluição difusa (CREAMS, GLEAMS, SWMM, STORM, ANSWERS, UTM-TOX, PRZM, AGNPS, SWRRB, SWAT, SHETRAN e HSPF) e constataram que os mesmos quando são fundamentados em processos físicos, exigem grande quantidade de dados e qualificação profissional.

#### **3.4.1. Modelos Matemáticos**

Modelo é uma representação simplificada da realidade que pode ser utilizado para a obtenção de conhecimento, realização de previsões, controle, análises, síntese e instrumentação (Haefner, 1996 *apud* Araujo, 2005).

Os modelos matemáticos são técnicas que permitem representar alternativas propostas e simular condições reais, que poderiam ocorrer dentro de uma faixa de incertezas, inerentes ao conhecimento técnico-científico. O modelo matemático de qualidade da água deve ser visto como um auxiliar valioso para simular alternativas elencadas pelos planejadores e questionadas pela população. O conhecimento do comportamento dos processos envolvidos e simulados pelos modelos é essencial, para que as alternativas e os resultados sejam representativos e possam ser corretamente avaliados (Tucci, 2005b).

A aplicação de modelos distribuídos com base física requer a avaliação de um número relativamente grande de parâmetros relacionados ao solo, à vegetação e aos aspectos topográficos em uma dimensão espacial. Visando resolver esses problemas, os cientistas estão estimulando o desenvolvimento de estratégias de coletas de dados em campo e o uso da tecnologia de sensoriamento remoto (Maidment, 2002).

Os modelos hidrológicos do tipo distribuídos apresentam melhor desempenho para bacias urbanizadas, pois, estas possuem elevadas heterogeneidades, devido às modificações ocasionadas pelo uso e ocupação do solo (Garcia, 2005).

### **3.4.2. Modelos de qualidade de água**

A utilização de modelos para avaliar as mudanças na qualidade dos recursos hídricos serve para ampliar a capacidade preditiva, e permite responder a uma demanda permanente dos gestores de recursos hídricos e da sociedade (Christofoletti, 1999).

Os modelos de simulação de carga poluidora, que representam matematicamente os processos de geração das cargas, têm como objetivo relacionar os diferentes tipos de cobertura do solo e seus impactos na rede de drenagem. Dessa forma, estimativas são realizadas na expectativa de indicar as áreas de maior geração de poluição e as áreas que podem estar ameaçadas ou em desequilíbrio, por serem receptoras dessas cargas.

Um modelo largamente utilizado para qualidade em sub-bacias urbanas é o SWMM, com o qual diversos estudos conseguiram bons resultados para as cargas de poluentes na modelagem, como Temprano *et al.* (2006) para DQO, SS e NT, Warwick e Tadepalli

(1990) analisando DBO e  $\text{PO}_3^{-4}$  obtendo uma subestimação dos SS. Para Alvarez (2010), apesar de analisar poucos eventos, recomendou a aplicabilidade do SWMM para a simulação de parâmetros como OD,  $\text{PO}_3^{-4}$ , ST, DQO e DBO.

### 3.4.3. SWMM - Storm Water Management Model

O SWMM é um modelo de gerenciamento de águas pluviais desenvolvido desde 1971 pela Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos (EPA - *Environmental Protection Agency*). Sofreu diversas atualizações, ao longo dos anos, sendo a última versão (SWMM 5.0.022 de 2011) disponibilizado livremente no endereço eletrônico da agência, e possui o código aberto, propicio à modificações, se o usuário desejar.

É considerado um modelo de base física, emprega os princípios de conservação de massa, energia e momento. É comumente aplicado em áreas urbanas a fim de auxiliar no planejamento, análise e concepção de projetos de escoamentos de águas pluviais. Simula os fenômenos hidrológicos e hidráulicos com modelo chuva-vazão para um único evento ou contínuo, fornecendo resultados relativos à qualidade e quantidade das águas do escoamento gerado a partir do sistema de galerias para a previsão de vazões, pontos de inundação e de poluentes (Gironás *et al.*, 2009).

O SWMM faz simulações de hidrologia, hidráulica e do transporte das substâncias que interferem na qualidade da água no sistema de drenagem. É composto por quatro módulos principais: Atmosférico (precipitação e deposição de poluentes), Superfície terrestres (escoamento e infiltração), Águas subterrâneas (fluxo de base) e Transporte de fluxo (canais, condutos, entre outros) (Rossman, 2010).

Os estudos realizados com a aplicação do SWMM apresentaram objetivos diversos, dentre eles: análise do desenvolvimento de projetos de esgotamento sanitário (Seibt *et al.*, 2011; Lowe, 2009); cálculos dos impactos causados pela adoção de BMPs (Meng e Lee, 2011; Hong, 2012; Neves *et al.*, 2008 ). Outros utilizaram o modelo com o auxílio de técnicas mais sofisticadas de GIS para observar os avanços da urbanização (Kim *et al.*, 2007; Souza *et al.*, 2011). Alguns trabalhos testaram a aplicação do programa em bacias hidrográficas, obtendo calibrações satisfatórias para vazão (Bastos, 2007; Collodel, 2009; Shinma, 2011; Beling *et al.*, 2011; Wang e Altunkaynak, 2012).

### 3.4.3.1. Modelo chuva-vazão

O módulo de Escoamento gera os hidrogramas a partir dos dados de entrada do clima (precipitação, neve) e um conjunto de parâmetros que geram as saídas que podem ser sob a forma de evaporação, infiltração ou escoamento superficial. Esses parâmetros descrevem fisicamente a bacia hidrográfica (área, largura e declividade), como também hidrologicamente (porcentagem de impermeabilidade, capacidade de armazenamento, coeficiente de rugosidade de Manning, parâmetros de infiltração).

Para a simulação, a bacia é dividida em sub-bacias com características uniformes. Cada sub-bacia é dividida em áreas permeáveis e impermeáveis, com o valor máximo de armazenamento e modeladas como reservatórios não-lineares (Wang e Altunkaynak, 2012; Rossman, 2010) e cada sub-bacia é associada a um pluviógrafo. O escoamento superficial ocorre quando a profundidade da água do reservatório é maior do que o valor máximo de armazenamento.

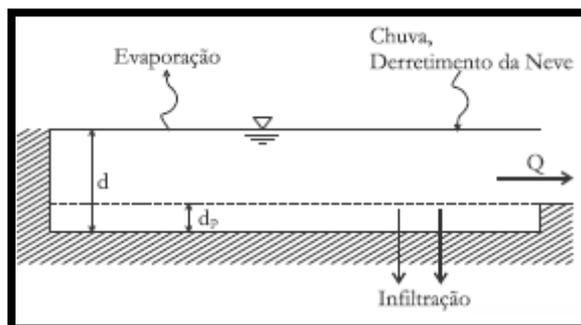


Figura 3-2. Geração do escoamento no modelo SWMM. (Rossman, 2010).

( $d$  - lâmina de água no reservatório;  $d_p$  - valor máximo de armazenamento na depressão;  $Q$  - vazão gerada em cada sub-bacia.)

A modelagem da infiltração nas áreas permeáveis pode ser calculada pela equação de Horton, pelo método Green-Ampt ou SCS (Wang e Altunkaynak, 2012; Rossman, 2010). O método SCS é uma aproximação adotada pelo CN (Curva-Número) do NRCS (National Resources Conservation Service) para estimativa do escoamento superficial. Considera-se que a capacidade total de infiltração do solo pode ser obtida pela tabela do CN, que é baseada na impermeabilidade da bacia. Dentro do método há uma divisão quanto ao tipo de solo encontrado, mostrados na Tabela 3-3, e as condições de umidade que o solo se apresenta, mostrado na Tabela 3-4.

Tabela 3-3. Grupos Hidrológicos de solos. (Fonte: Tucci, 1995)

<b>GRUPOS</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>Grupo A</b>	Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8 %.
<b>Grupo B</b>	Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15 %.
<b>Grupo C</b>	Solos barrentos com teor total de argila de 20 a 30 % mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidades de 1,2 m.
<b>Grupo D</b>	Solos argilosos (30 . 40 % de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade.

Tabela 3-4. Condições de umidade antecedente do solo. (Fonte: Tucci, 1995)

<b>CONDIÇÕES DE UMIDADE</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>CONDIÇÃO I</b>	Solos secos: as chuvas nos últimos 5 dias não ultrapassam 15 mm.
<b>CONDIÇÃO II</b>	situação média na época das cheias . as chuvas nos últimos 5 dias totalizaram entre 15 e 40 mm.
<b>CONDIÇÃO III</b>	solo úmido (próximo da saturação) . as chuvas nos últimos 5 dias foram superiores a 40 mm e as condições meteorológicas forma desfavoráveis a altas taxas de evaporação.

As equações desse método são mostradas nas Equações 3-1 a 3.3, em que se perceber que os dados principais para o cálculo da vazão resumem-se na precipitação e no CN, que é determinado pelo uso e ocupação do solo tabelados na literatura.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad \text{Equação 3-1}$$

Pe – Chuva excedente (mm);

P – Precipitação (mm);

Ia – Abstração inicial (mm)

S – potencial máximo de retenção após começar o escoamento (mm).

$$I_a = 0,2 \times S \quad \text{Equação 3-2}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Equação 3-3}$$

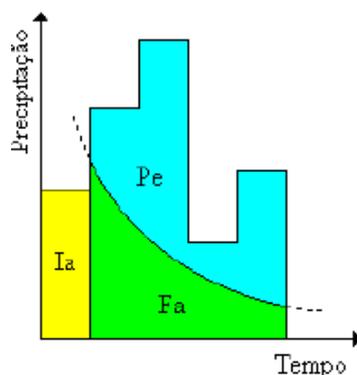


Figura 3-3. Esquema do modelo SCS.

O método do SCS, é o que requer menos dados de entrada para o cálculo da vazão gerada, como basicamente o uso e ocupação do solo representado pelo CN (Além da precipitação) comparada com a equação de Horton e o método de Green-Ampt, que necessitam de dados sobre o solo, como a capacidade de infiltração hidráulica da superfície saturada. Esses estudos sobre o solo mais detalhado são difíceis de serem realizados em área urbana, onde os solos encontram-se modificados, dificultando a obtenção desses dados. Assim, aconselha-se o uso do método SCS em bacias urbanas, apesar de que, em sua origem, os valores foram definidos para solos em áreas rurais, mas foi adaptado para áreas urbanas e largamente utilizado com êxito.

As saídas do módulo de escoamento são utilizadas como entrada no bloco de transporte, onde são simulados o sistema de drenagem e esgotamento sanitário compostos de elementos geométricos hidráulicos (nós ou condutos). Dentro do SWMM podem ser utilizados três modelos diferentes: fluxo em regime uniforme, onda cinemática e onda dinâmica (Rossman, 2010).

O fluxo em regime uniforme não realiza a propagação de vazões, simplesmente o hidrograma de entrada em um nó de montante é transferido para o nó a jusante do conduto, sem atraso ou mudança de forma. Ou seja, não leva em consideração o efeito de armazenamento da água que se produz nos condutos, nem ressaltos hidráulicos, nem perdas na entrada e na saída, nem efeitos de remanso ou fluxo pressurizado. O modelo de onda cinemática utiliza a equação da continuidade e uma versão simplificada da equação de quantidade de movimento em cada um dos condutos, onde a simplificação de que a declividade da superfície livre da água seja igual a declividade do fundo do conduto. O modelo da onda cinemática permite que a vazão e a área variem no espaço e

no tempo no interior do conduto. Isto pode resultar em amortecimento e defasagem nos hidrogramas de saída com respeito aos hidrogramas de entrada nos condutos. No entanto, neste modelo de transporte não se pode simular efeitos como ressalto hidráulico, as perdas nas entradas e saídas, o efeito de remanso ou fluxo pressurizado. Sua aplicação está restrita a redes ramificadas.

O modelo da onda dinâmica resolve as equações completas unidimensionais de Saint Venant. É possível representar o fluxo pressurizado quando um conduto fechado encontra-se completamente cheio, de forma que a vazão circula pode ultrapassar o valor do tubo completamente cheio, obtido pela equação de Manning. Esse modelo admite o armazenamento nos condutos, o ressalto hidráulico, as perdas nas entradas e saídas do conduto, o remanso e o fluxo pressurizado. Considerando que o modelo calcula, de forma simultânea, os valores dos níveis de água nos nós e as vazões nos condutos, ele pode ser aplicado para qualquer tipo de traçado da rede de drenagem, mesmo aqueles que contem nós com múltiplas divisões de fluxo a jusante ou as redes malhadas (Rossman, 2010).

Tabela 3-5. Cálculos do escoamento no SWMM.

TIPOS DE ANÁLISES DE ESCOAMENTO	EQUAÇÕES
<b>Regime Permanente</b>	$\frac{\partial}{\partial t} = 0$
<b>Onda Cinemática</b>	$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$ $g \cdot A \cdot S_f - g \cdot A \cdot S_0 = 0$
<b>Onda Dinâmica</b>	$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$ $\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + g \cdot A \cdot \frac{\partial y}{\partial x} + g \cdot A \cdot S_f - g \cdot A \cdot S_0 = 0$

Garcia (2005) estudou a aplicabilidade do modelo SWMM em uma bacia hidrográfica urbana monitorada no Rio Grande do Sul e obteve o coeficiente de correlação de 0,95 após calibração. Realizou também a análise da sensibilidade e quanto à vazão de pico, os parâmetros mais importantes foram: porcentagem de área impermeável (AI), largura do escoamento das sub-bacias (L) e o coeficiente de rugosidade de Manning para as sub-bacias (n); e quanto ao volume escoado os parâmetros mais sensíveis foram: os

parâmetros de infiltração da equação de Horton (I) e porcentagem de área impermeável (AI).

Ressalta-se que a utilização do modelo SWMM para a simulação da rede de microdrenagem utilizando a técnica padrão do modelo, que considera o armazenamento nos nós, deve ser utilizada com muito cuidado, sendo mais adequada para sistemas de drenagem em que não ocorram inundações, pois Bastos (2007) encontrou sérios problemas de instabilidade quando se trata da simulação de condutos fechados operando na capacidade máxima.

#### **3.4.3.2. Modelo de qualidade da água**

O programa SWMM é também uma ferramenta de análise de qualidade da água. No compartimento de transporte de fluxo, fornecido o hidrograma como dado de entrada, é possível a construção dos polutogramas (concentração x tempo) para cada poluente estudado, podendo essa geração ser realizada pelo acúmulo dos poluentes em função do número de dias secos ou pela lavagem dos poluentes. O programa é capaz de prever concentrações de diversos poluentes: SS, N, P no escoamento de águas pluviais, bem como a quantidade desses removida pela enxurrada.

O modelo considera que no interior de um conduto haja um comportamento como um tanque de mistura com fluxo permanente, o que pode fornecer bons resultados, mesmo que a consideração de um reator de fluxo pistão pareça ser a suposição mais adequada, pois as diferenças entre ambos os modelos são pequenas se o tempo de trajeto da água, ao longo do conduto, são da mesma ordem de magnitude do passo de tempo do modelo hidráulico de transporte (Gironás *et al.*, 2009). A concentração de um determinado componente no final de um conduto é realizada utilizando valores médios da vazão e do volume de água no conduto, durante cada passo de tempo.

O mesmo programa ainda permite simular a geração, entrada e transporte de qualquer número de poluentes definidos pelo usuário. A informação necessária de cada está descrita na Tabela 3-6.

Tabela 3-6. Características de Poluentes.

<b>POLUENTES</b>
Identificação do poluente
Unidades de concentração (mg/L; µg/L ou unid/L)
Concentração dos poluentes nas precipitações
Concentração dos poluentes nas águas subterrâneas
Concentração dos poluentes nos processos de entrada direta ou infiltração
Coeficiente de decaimento para a reação de primeira ordem.

O programa também permite a inserção de co-poluentes, ou seja, agentes poluentes associados, que correspondem a uma fração de outro poluente durante o escoamento superficial. E há dois processos também considerados pelo modelo, a acumulação (*build up*), a lixiviação dos poluentes (*washoff*), determinadas a partir dos usos do solo, atribuídos a cada sub-bacia.

Os usos do solo são identificados como categorias das atividades desenvolvidas ou características superficiais do solo, atribuídas às sub-bacias, como por exemplo, residenciais, comercial, sem ocupação, vias, universidade e hospitais.

O processo de acumulação de poluentes é definido como a massa por unidade de área das sub-bacias que se agrega em um determinado uso do solo. A quantidade de poluente armazenada depende do número de dias sem precipitação antecedente à chuva e pode ser calculada de três maneiras, observadas na Tabela 3-7.

Tabela 3-7. Opções de cálculo de acumulação dos poluentes no SWMM.

OPÇÕES DE CÁLCULO	EQUAÇÃO	PARÂMETROS	EXPLICAÇÃO
<b>Função potência</b>	$B = \text{Min}(C_1, C_2 t^{C_3})$	$C_1$ – acumulação máxima possível (ML <sup>-2</sup> ) $C_2$ – cte de crescimento do poluente acumulado $C_3$ – expoente do tempo	A acumulação do poluente “B” é proporcional ao tempo elevado a uma potência até atingir um valor máximo.
<b>Função exponencial</b>	$B = C_1(1 - e^{-C_2 t})$	$C_1$ – acumulação máxima possível (ML <sup>-2</sup> ) $C_2$ – cte de crescimento do poluente acumulado (1/dia)	Comporta-se como uma acumulação exponencial que se aproxima assintoticamente a um determinado valor máximo.
<b>Função saturação</b>	$B = \frac{C_1 \cdot t}{C_2 + t}$	$C_1$ – acumulação máxima possível (ML <sup>-2</sup> ) $C_2$ – cte de semi-saturação (nº de dias necessários para alcançar a metade da acumulação possível).	Começa de forma linear e progressivamente diminui ao longo do tempo até alcançar um determinado valor de saturação.

Para o fenômeno de Lixiviação dos poluentes existem mais outras três opções adotadas pelo programa que é explicado na Tabela 3-8 a seguir. É também variável de acordo com o uso do solo, e quando esse processo é finalizado significa que não há mais poluente acumulado.

O poluente encontra-se depositado na superfície durante o período seco antecedente ao evento da chuva, e durante o processo de lixiviação é incorporado ao fluxo do escoamento superficial. Nesse processo estão envolvidos dois fenômenos que ocorrem simultaneamente: a dissolução de compostos solúveis, quando as primeiras águas de chuva caem molhando a superfície, a queda dos pingos de chuva e o fluxo horizontal do escoamento promovem a turbulência necessária para que ocorra a dissolução: se a precipitação continua dando início ao escoamento, daí então o segundo fenômeno ocorre: devido ao aumento da taxa de fluxo e da velocidade, o material particulado é carregado até a área de descarga da bacia (Ferreira, 2008). Na Tabela 3-8 estão as equações do modelo SWMM que tentam reproduzir fenômeno.

Tabela 3-8. Opções de cálculo de lixiviação dos poluentes no SWMM.

OPÇÕES DE CÁLCULO	EQUAÇÃO	PARÂMETROS	EXPLICAÇÃO
<b>Exponencial</b>	$W = C_1 \cdot q^{C_2} \cdot B$	C <sub>1</sub> – coeficiente de lixiviação C <sub>2</sub> – expoente de lixiviação Q – escoamento por un. de área (mm/h) B – acum. do agente poluente	A carga lixiviada W (MT <sup>-1</sup> ) é proporcional ao produto do escoamento elevado a uma potência, pela quantidade de agente poluente acumulado.
<b>Curva de Taxa de lixiviação</b>	$W = C_1 Q^{C_2}$	C <sub>1</sub> – coeficiente de lixiviação C <sub>2</sub> – expoente de lixiviação Q – escoamento	W(MT <sup>-1</sup> ) é proporcional à vazão de escoamento, elevado a uma potência.
<b>Concentração média do evento</b>	$W = C_1 Q^{C_2}$	C <sub>2</sub> =1 C <sub>1</sub> - representa a concentração de poluente lixiviado em massa/L	Caso especial da curva de taxa de lixiviação.

Dados de entrada precisos no modelo são essenciais para um bom resultado na análise da qualidade da água, pois os valores dos poluentes estão relacionados com: as variações da intensidade da precipitação, o tipo de projeto do sistema de esgotamento sanitário (se separador absoluto ou combinado) pois as taxas de interceptação entre eles é variável, e a cobertura dessa infraestrutura para a população, pois onde há sistema de drenagem e esgotamento sanitários, com o tratamento adequado, há uma redução significativa da DBO nos rios (Choi, 2006).

Mas essa simulação é bastante complexa. Zhang *et al.* (2008) concluiu que nenhum método de previsão de concentração de poluentes conseguiu simular bem os parâmetros, com exceção do nitrogênio, isso para 78 eventos estudados em 5 bacias ocupadas principalmente por florestas.

### 3.4.3.3. Resumo dos processos hidráulicos e hidrológicos e de qualidade da água ocorrido no modelo SWMM

Tabela 3-9. Fenômenos simulados no SWMM. Fonte: Rossman, 2010.

DESCRIÇÃO/FENÔMENOS	MÉTODOS
<b>Compartimento das BHs</b>	Sub-bacias/ Unidades Hidrográficas
<b>Evapotranspiração Potencial</b>	Geralmente é um dado de entrada, que pode ser fornecido em um único valor, sob a forma de valores médios mensais ou uma série diária.
<b>Escoamento Superficial</b>	Fluxo permanente Onda Cinemática Onda Dinâmica
<b>Infiltração</b>	Horton Green e Ampt SCS (Soil Conservation Service)
<b>Águas Subterrâneas</b>	O aquífero é subdividido em duas zonas (insaturado e completamente saturado). O fluxo de base é calculado por um balanço do fluxo percolado subtraído do fluxo lateral, e do fluxo perdido por evapotranspiração.
<b>Armazenamento</b>	Reservatório Linear, onde a capacidade máxima de armazenamento da superfície molhada, e do grau de interceptação e da topografia da área inundada.
<b>Poluentes</b>	Acúmulo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Função potência</li> <li>• Exponencial</li> <li>• Função de saturação</li> </ul> Lavagem/Carreamento: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exponencial</li> <li>• Variação da curva</li> <li>• Concentração média por evento</li> </ul> Decaimento: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Primeira ordem</li> </ul>

## 4. METODOLOGIA

Para se obter informações da qualidade das águas de drenagem urbana, foram utilizadas três etapas metodológicas: a concepção dos pontos de monitoramento, a coleta de dados associada às atividades laboratoriais, o tratamento dos dados obtidos e a etapa de modelagem matemática com o auxílio de programas computacionais.

A concepção do monitoramento corresponde à escolha dos tipos de equipamentos, a locação, configuração, e instalação para a aquisição de dados de precipitação, cota, vazão e amostragem das águas urbanas.

Já a coleta de dados refere-se à recuperação dos dados armazenados nos equipamentos, como pluviógrafos e linígrafos. Paralelamente, foram realizadas as saídas de campo para a busca das amostras de água, no dia subsequente aos eventos de precipitação. Em seguida, foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Água a fim de que pudessem estar corretamente preservadas para posterior análise dos parâmetros de interesse.

Foi realizado o tratamento dos dados disponíveis em que foram calculados os parâmetros relevantes ao estudo, como vazão, concentração e cargas dos poluentes, construídos os gráficos e tabelas com as respectivas interpretações.

Para a modelagem matemática utilizou-se o programa SWMM, para a compreensão dos processos no sistema na abordagem de simulação de vazões e cargas difusas. O SWMM utiliza uma discretização da infraestrutura urbana para a geração dos resultados, e pode ser utilizado para a simulação de qualidade da água.

Após a conclusão das fases citadas, foi possível realizar a caracterização das cargas de poluição difusas que atingem o Lago Paranoá por meio de galerias de drenagem de duas bacias essencialmente urbanas: Bacia do C.O. e Bacia do Iate, ambas localizadas no bairro da Asa Norte, em Brasília.

Essa metodologia foi esquematizada no organograma apresentado a seguir (Figura 4-1).

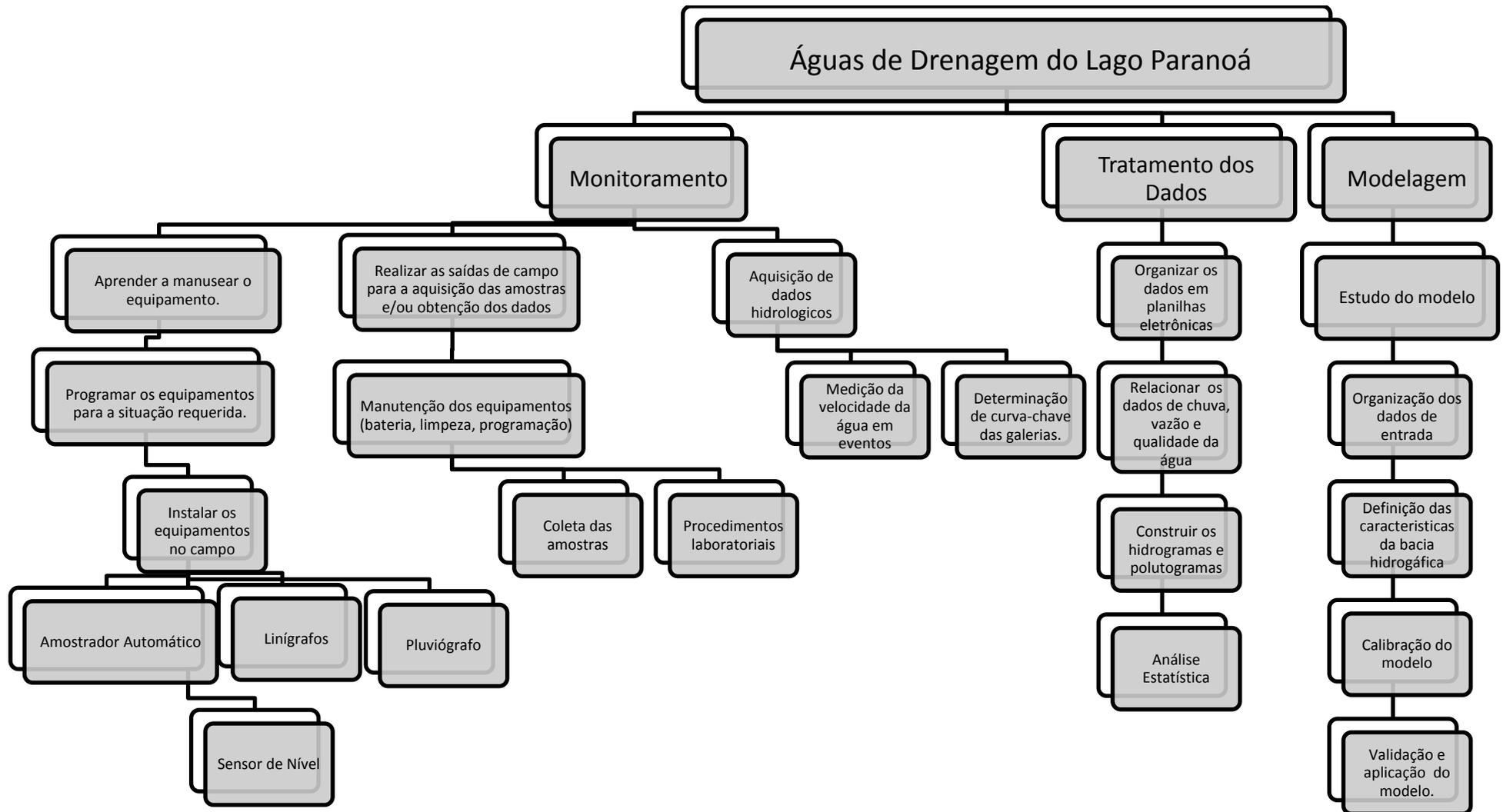


Figura 4-1. Organograma da metodologia aplicada à análise das águas de drenagem urbana.

#### **4.1. ÁREA DE ESTUDO**

A área do estudo corresponde a duas sub-bacias denominadas de C.O. e Iate de 5,43Km<sup>2</sup> e 8,82Km<sup>2</sup>, respectivamente. Ambas estão localizadas na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá, na região central do Distrito Federal, correspondendo a 18% do território. E está contida na região hidrográfica do Paraná, região responsável pela maior área drenada do DF (Ferrante *et al.*, 2001). Essa bacia é subdividida em 5 unidades hidrográficas, são elas: Santa Maria/Torto, Bananal, Riacho Fundo, Ribeirão do Gama e também Lago Paranoá(Figura 4-2).

Além da contribuição dos afluentes principais, o Lago Paranoá recebe águas de córregos menores, de drenagens pluviais urbanas e dos efluentes de duas estações de tratamento de esgoto da CAESB, ETE sul e ETE norte (Menezes, 2010).

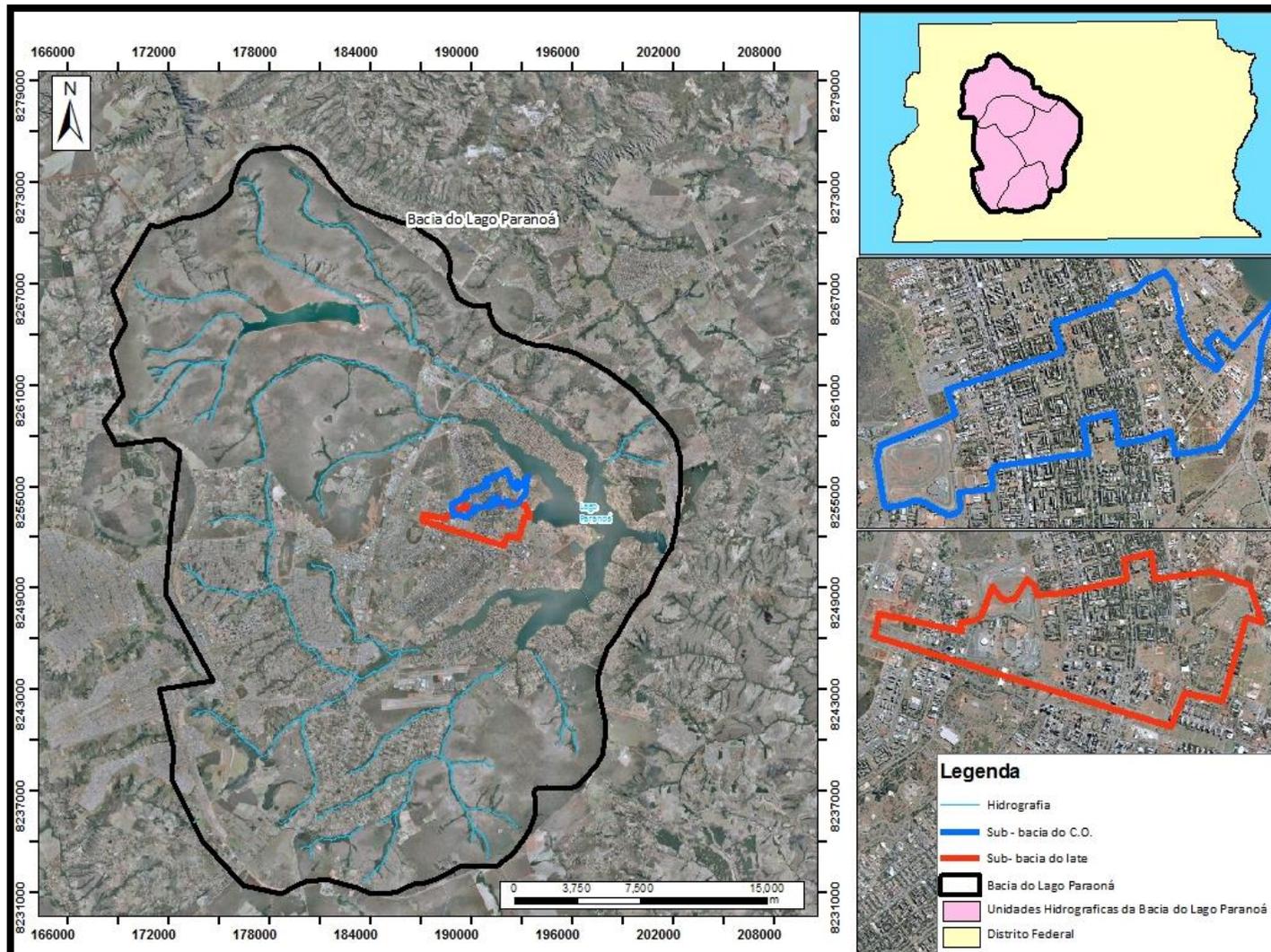


Figura 4-2. Mapa do Distrito Federal com destaque para a Bacía do Lago Paranoá, que contém as duas sub-bacias urbanas estudadas.

## **4.1.1. Características da Bacia Hidrográfica**

### **4.1.1.1. Clima**

O clima predominante da região segundo a classificação de Koppen é tropical de savana, com a concentração da precipitação pluviométrica no verão. A estação chuvosa começa em outubro e termina em abril, representando 84% do total anual. O período de maior concentração de chuvas é o trimestre de novembro, dezembro e janeiro, com as maiores precipitações registradas no mês de dezembro. A estação seca ocorre de maio a setembro sendo o trimestre de junho, julho e agosto o período mais seco. A temperatura média anual varia entre 18° e 22° C, e a umidade relativa do ar atinge valores entre 20% e 70% no período de seca (Ferrante *et al.*, 2001).

Ressalta-se que o mês de dezembro concentra as maiores precipitações, uma média de 300mm e o maior número de dias chuvosos, cerca de 25 dias. Enquanto que julho apresenta a menor ocorrência de chuva, apenas 3mm e com a média de somente 1 dia chuvoso.

### **4.1.1.2. Solos**

Os solos do Distrito Federal são produtos do intemperismo de rochas proterozóicas dos grupos Paranoá, Araxá, Canastra e Bambuí. Os solos, levantados pela EMBRAPA (1978), estão associados às superfícies de erosão de altitude médias de 1.200 m e 1.100m, modeladas sobre quartzitos e metarritmitos (Maia, 2003 *apud* Menezes, 2010).

A região do Distrito Federal apresenta três classes de solos entre as mais importantes. Essas classes são definidas como solos tropicais, vermelhos, ricos em ferro e alumínio, ácidos e pobres em macro e micro nutrientes e representam cerca de 85% do território do DF (EMBRAPA, 2004 *apud* Menezes, 2010). São eles: Latossolos Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo.

### **4.1.1.3. Geomorfologia**

Na região da bacia são encontrados quatro tipos de compartimentos geomorfológicos: a região de chapadas elevadas, a região de dissecação intermediária, região de rebordos e região de vales dissecados.

#### 4.1.1.4. Vegetação

A paisagem descrita abrange dois grupos distintos: campos (limpo e sujo) e cerrados (campo-cerrado, cerrado e cerradão), com formações adicionais como matas ciliares, matas mesófilas e veredas.

Conforme Ferrante *et al.*(2001), o cerrado típico é uma formação de savanas que tem como característica uma camada arbórea descontínua atingindo 8m de altura, cobrindo de 10 a 60% da superfície do DF e um estrato herbáceo-arbustivo bastante diversificado.

A vegetação da Bacia do Lago Paranoá tem influência direta na qualidade do corpo d'água, por desempenhar importante papel na contenção de processos erosivos, fenômenos que contribuem para o assoreamento do Lago. As matas de galerias, em particular, são fundamentais para a manutenção dos sistemas hídricos (Menezes, 2010).

Na Figura 4-3 está o mapa do uso e ocupação em 2009 para a Bacia do Lago Paranoá. Deseja-se destacar a pouca área ocupada pela vegetação, sendo o uso predominante o urbano no contorno do Lago. As mata ciliares, somente são visíveis em torno dos rios afluentes.

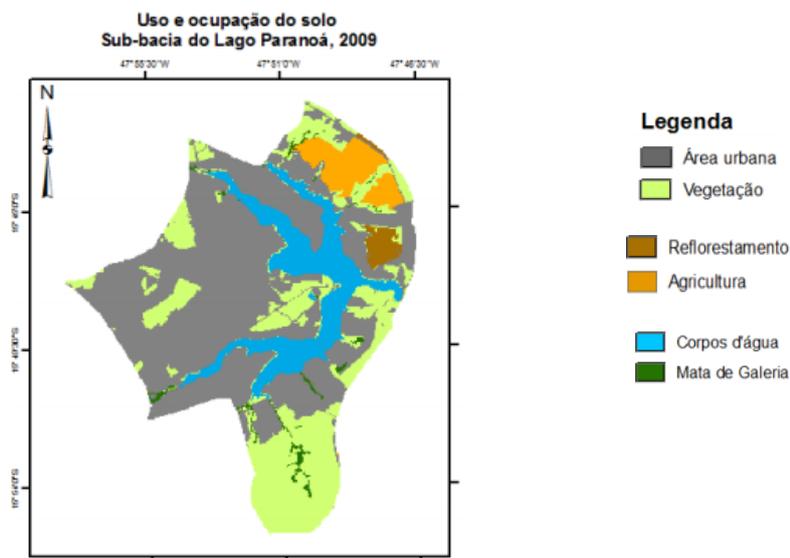


Figura 4-3. Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia do Lago Paranoá em 2009(Tomaz, 2011).

#### **4.1.2. Sistema de drenagem urbana**

O sistema de esgotamento sanitário adotado no Brasil corresponde ao do tipo separador absoluto, ou seja, as águas residuárias são captadas por um sistema e encaminhadas às estações de tratamento, enquanto às águas da drenagem pluvial são lançadas diretamente nos corpos hídricos.

No Distrito Federal compete à Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (Novacap) a responsabilidade por administrar a execução de obras e a gestão das redes de drenagem, que envolve 885,035m de extensão de redes na região foco deste estudo na Região Administrativa de Brasília (NovaCap, 2007).

O sistema de infraestrutura urbana que utiliza o Lago Paranoá como corpo receptor contém cerca de 105 galerias de diversas dimensões e extensões com variadas vazões, deságuam suas águas urbanas, sem qualquer tipo de tratamento, carreando poluentes para a futura fonte de abastecimento humano do DF (CAESB, 2010).

#### **4.1.3. Sub-bacias**

Para a análise da qualidade das águas oriundas da drenagem urbana, foram escolhidas duas sub-bacias urbanas localizadas no Plano Piloto da cidade de Brasília, no Distrito Federal, a Bacia do C.O. e a Bacia do Iate.

A Bacia do C.O, como se pode observar na Figura 4-4, tem como cabeceira o Autódromo Nelson Piquet e como Exultório o Centro Olímpico da Universidade de Brasília, abrangendo quadras comerciais, residenciais, o setor de oficinas, escolas e universidades.

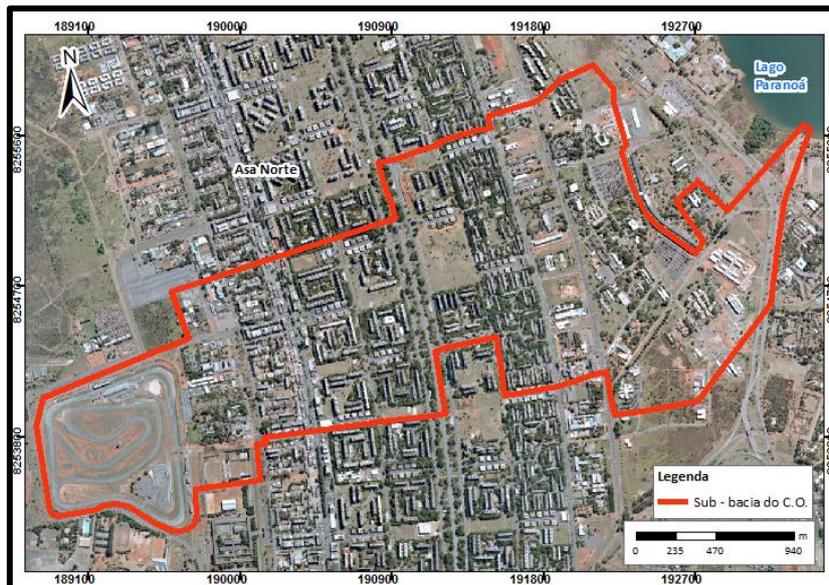


Figura 4-4. Delimitação da sub-bacia do C.O.

Apesar da padronização quanto as questões urbanísticas da cidade de Brasília, a sub-bacia do Iate, mostrada na Figura 4-5, tem um uso e ocupação um pouco diferente da bacia anterior, concentrando prédios comerciais. Ela tem início antes do Estádio Nacional Mané Garrincha, próximo ao Palácio Buriti e deságua dentro do Iate Clube de Brasília, envolvendo a Esplanada dos Ministérios Norte, Setor Hoteleiro Norte, Setor de Autarquias Norte.

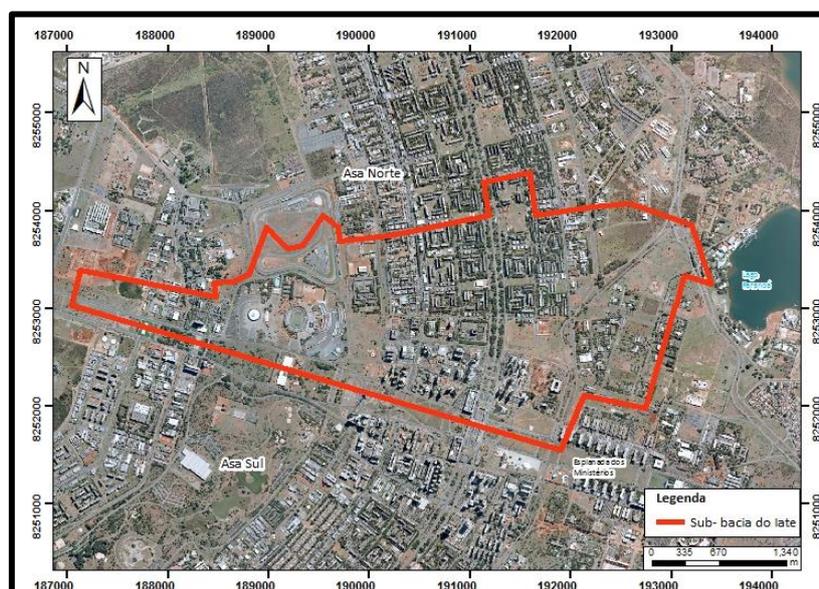


Figura 4-5. Delimitação da sub-bacia do Iate.

As duas sub-bacias não apresentam diferenças somente quanto ao uso e ocupação do solo. A bacia do Iate é maior e por isso recebe mais volume de água procedente do escoamento superficial. Quanto às características da rede drenagem, a do Iate também

tem comprimento e seção transversal maiores. Essas características foram organizadas na Tabela 4-1.

Tabela 4-1 – Características da Bacia do C.O. e da bacia do Iate.

	<b>BACIA DO C.O.</b>	<b>BACIA DO IATE</b>
<b>Área</b>	5,43Km <sup>2</sup>	8,9 Km <sup>2</sup>
<b>Comprimento</b>	15,3 Km	16,9Km
<b>Tempo de Concentração</b>	46 min	57 min
<b>Ponto mais elevado</b>	Autódromo Nelson Piquet	Setor Militar Urbano
<b>Declividade Média</b>	2,84%	4,05%
<b>Exultório</b>	Centro Olímpico da Universidade de Brasília	Iate Clube de Brasília
<b>Rede de drenagem</b>	Seção 2,2 x 2,2	Seção 3 x 3 m
<b>Tipos de uso e ocupação do solo presentes</b>	Setor de Grandes Áreas Norte (quadras 905, 906, 605, 606 e 607), o Setor Comercial e Residencial Norte (quadras 705 e 706, as superquadras 305, 306, 105, 106, 205, 206, 207, 405 e 406) e parte do campus universitário Darcy Ribeiro	Setor Militar Urbano, Setor de Administração Distrital, Complexo Poliesportivo, Setor Hoteleiro Norte, Setor de Diversão Norte, Setor de Difusão Cultural Norte, Setor Comercial Norte, Setor de Rádio e Televisão Norte, Setor Médico e Hospitalar Norte, Setor Bancário Norte, Setor de Autarquias Norte, Setor de Embaixadas Norte, Superquadras Nortes 702,703,704,0302,303,304, 102, 103, 104, 202, 203, 204, 402, 403 e 404.
<b>Cota do ponto mais elevado</b>	1140m	1160m
<b>Cota do Exultório</b>	1000m	1000m

A rede de drenagem na sub-bacia do C.O é de concreto armado e tem de extensão 15,3Km. Quanto à rede, percebe-se que possui dois ramos principais, unindo-se próximo a Universidade de Brasília, em uma galeria de seção transversal de 2,2 x 2,2m até o seu exultório. Em toda sua extensão, apresenta-se sob diversas formas (circular, retangular e quadrada), em diferentes dimensões, variando de 0,5m a 2,2m. Na Figura 4-4 está mostrado o esquema da rede de drenagem pluvial da bacia do C.O. com os detalhes do exutório, aportando as águas no Lago Paranoá. Ao longo de seu comprimento, a rede possui degraus de até 1m de altura a fim diminuir a energia da água e reduzir a sua velocidade.

Para o desenho dessa rede de drenagem, foram levantados 70 pontos em campo referente a localização e características dos poços de visita, como elevação, número, tipos e diâmetros das entradas.

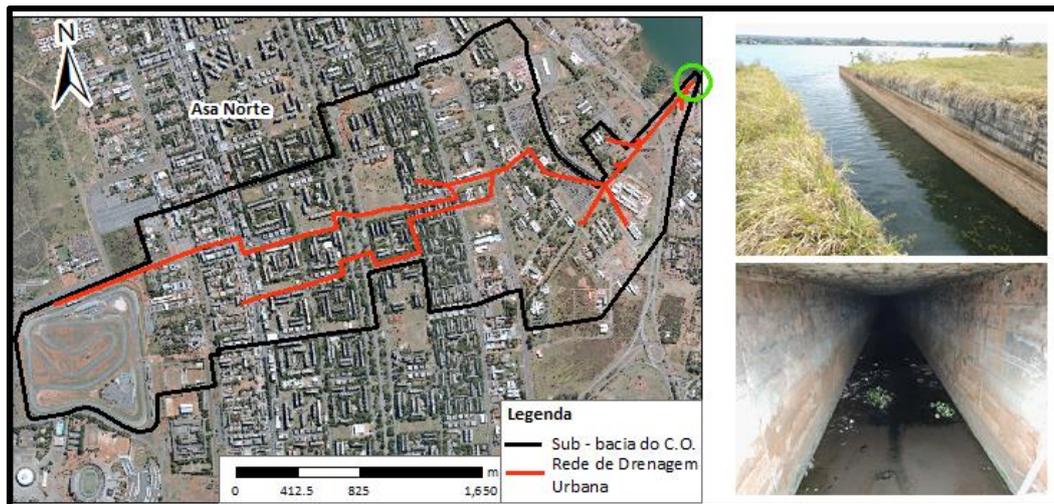


Figura 4-6. Rede de drenagem urbana da bacia do C.O, com detalhes do exultorio tanto a jusante (Saida no Lago Paranoá) quanto a montante (Galeria de drenagem).

Na Figura 4-7 é possível observar as diferentes declividades ao longo da sub-bacia do C.O. Possui uma declividade média de 2,84 %, mas se considera que a bacia está urbanizada, ou seja, as condições naturais foram modificadas, prevalecendo, para a questão do escoamento superficial, a infraestrutura construída, composta pela rede e os dispositivos de drenagem.

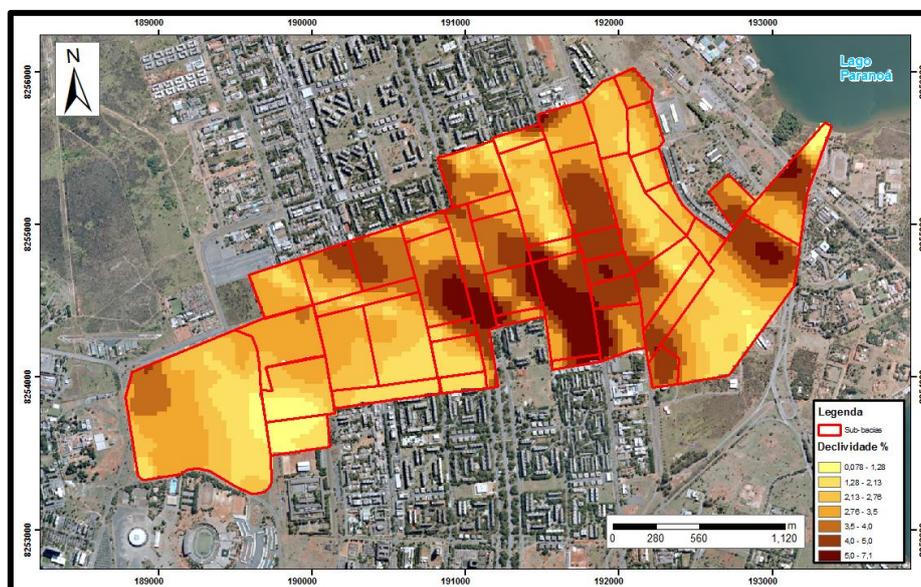


Figura 4-7. Mapa de declividade na sub-bacia do C.O. Base de dados: SICAD, 2010.

Na Figura 4-8 é apresentado o Mapa de elevação da sub-bacia do C.O. Percebe-se que a maior elevação atinge o 1140m, enquanto que a cota de menor elevação é a cota do Lago Paranoá (1000m).

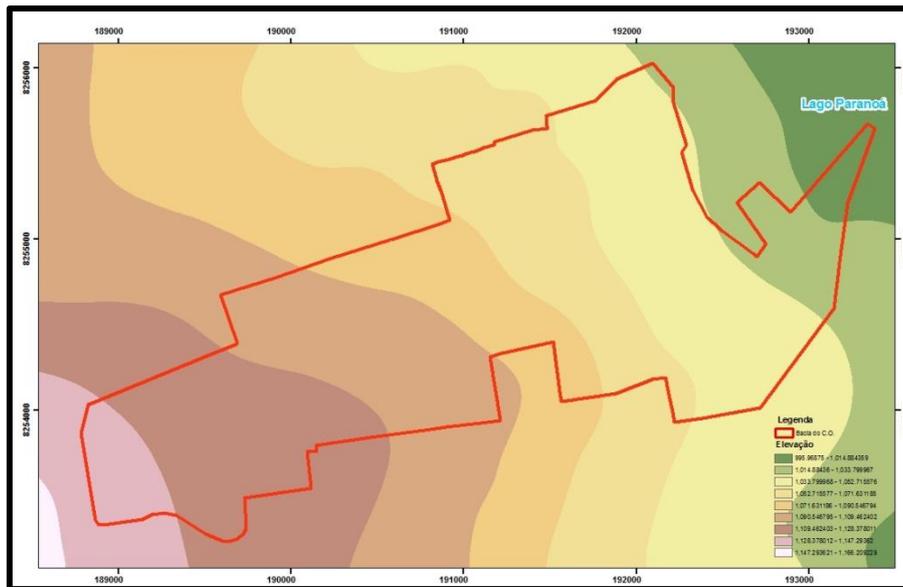


Figura 4-8. Mapa de elevação na sub-bacia do C.O. Base de dados: SICAD, 2010.

Foi possível também detalhar a questão do uso e ocupação do solo na sub-bacia do C.O., mostrado na Figura 4-9. Os critérios de classificação foram baseados na permeabilidade dos locais, a fim que esses dados fossem aproveitados para a modelagem hidrológica.



Figura 4-9. Uso e Ocupação do solo na sub-bacia do C.O. Fonte: Amorim, 2012.

É uma região com predominância da ocupação residencial, com setores comerciais, hospitalares e comerciais, mas, mantendo as características de Brasília, cidade-parque, uma região bastante arborizada, contendo muitas vezes jardins e gramados entre as edificações. Essas regiões verdes favorecem a infiltração da água do solo, diminuindo o escoamento superficial e amortecendo as ondas de cheias. Pode-se considerar que 13,5% da área da sub-bacia corresponde as áreas de transportes (pistas), 45% solo

exposto, campo aberto, gramados ou área arbórea e os demais 41,5% de regiões edificadas, tanto residenciais quanto comerciais.

A rede de drenagem da sub-bacia do Iate está mostrada na Figura 4-10. Possui um comprimento de 16,9 Km, separada em quatro ramos principais unidas próximo ao início da L3 norte, onde adquire a configuração de 3x3m de seção transversal até o exultório, no Iate Clube de Brasília. A galeria apresenta, ao longo da rede, degraus de cerca 1m de queda.

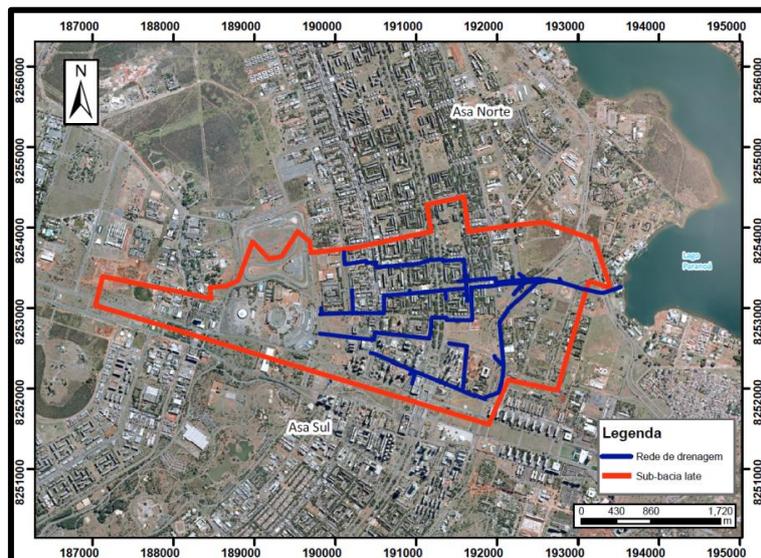


Figura 4-10. Rede de drenagem da sub-bacia do Iate. Base de dados: SICAD, 2010.

Na Figura 4-11 é possível verificar a elevação na sub-bacia do Iate, onde o ponto mais alto corresponde a uma cota de 1160m, no Setor Militar Urbano e o mais baixo 1000m no Lago Paranoá.

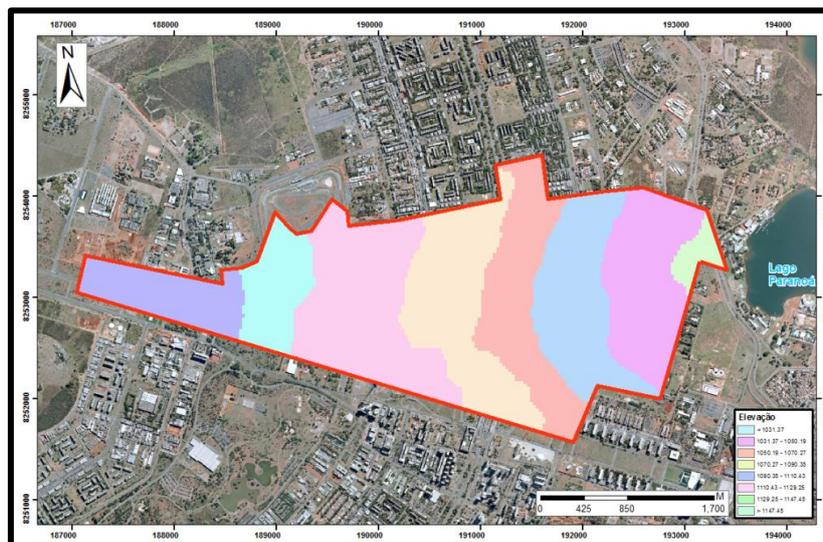


Figura 4-11. Elevação na sub-bacia do Iate.

#### **4.1.1. Uso e Ocupação nas sub-bacias de estudo**

Brasília é uma cidade que se destaca quanto ao desenho urbano, na forma como foi concebida e planejada. Tornou-se capital federal do Brasil em 1960, construída em apenas cinco anos e considerada Patrimônio Cultural da Humanidade em 1987 e Patrimônio Histórico e Artístico Nacional em 1990.

Esse histórico torna Brasília diferenciada, tanto pelo urbanismo como pela infraestrutura da cidade, com 93,71% no índice de atendimento com coleta de esgotos e 100% no índice de tratamento do esgoto coletado (SIESG, 2012) e a cidade apresenta IDH (Índice de desenvolvimento Humano) de 0,874.

Na organização urbana, Brasília é dividida por setores: residenciais, comerciais, escolas, oficinas, entre outros. Na região de estudo, caracterizada pela ocupação totalmente urbana, apresenta-se mesclada por esses setores.

#### **4.1.2. Coleta de resíduos**

Os resíduos sólidos possuem um papel importante na qualidade dos recursos hídricos nas cidades, porque podem ser fontes de poluição, pois se a coleta não existir ou se for ineficiente muitos desses resíduos são acumulados nas vias públicas ou áreas desocupadas. A ocorrência de chuvas pode provocar o carreamento desses resíduos para o sistema de drenagem podem obstruir bocas-de-lobo (Figura 4-12), condutos, galerias e serão lançados diretamente nos rios e lagos urbanos.

A coleta dos resíduos orgânicos no DF é de responsabilidade da SLU (Serviço de Limpeza Urbana), autarquia vinculada à Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Nas sub-bacias em estudo, esse serviço é realizado por uma empresa terceirizada todos os dias no início da manhã. De acordo com os dados do órgão são gerados um volume de resíduos sólidos de origem doméstica, hospitalar, comercial e industrial de 1,59 kg/hab/dia.



Figura 4-12. Acúmulo de resíduos nas bocas de lobo.

Apesar de Brasília não ser uma cidade modelo na questão dos resíduos sólidos, em alguns locais, como a Asa Norte, existe o Núcleo Regional de limpeza da Asa Norte. Essa instituição realiza a coleta de materiais recicláveis (papel, papelão, plástico, vidro, metais ferrosos e não ferrosos) com destinação final para a Unidade Central de Coleta Seletiva – UCCS, junto à usina de tratamento da Asa Sul.

A frequência da coleta ocorre 3 vezes por semana (terça-feira, quinta-feira e sábado) no início da manhã, a partir das 7:30, e há a cooperação dos moradores e condomínios, que separam seus resíduos em secos (recicláveis) e úmidos (predominantemente orgânicos), que são acondicionados em contêineres específicos para os tipos de resíduos devidamente identificados ou ainda dispostos diretamente em recipientes dos logradouros públicos (Figura 4-13 e Figura 4-14).



Figura 4-13. Bloco residencial que separa os resíduos sólidos em seco e molhado nos contêineres.



Figura 4-14. Lixeiras dentro dos edifícios com separação dos resíduos.



Figura 4-15. Disposição direta em logradoures públicos.

Na coleta são utilizados caminhões compactadores, com dispositivos de içamento de contêineres (*lifter*), de diferentes capacidades, que fazem a coleta porta a porta dos resíduos em dias e horários pré-determinados (Figura 4-16), (PDDU, 2008).



Figura 4-16. Lixeiras dentro dos edifícios com separação dos resíduos.

O Núcleo Regional de Limpeza Urbana na SLU também regulamenta os horários e frequências dos serviços de varrição são realizadas diariamente na Asa Norte, definidos pelos núcleos regionais de limpeza urbana. Esse serviço, predominantemente manual, consiste na limpeza de praças, logradouros públicos e sarjetas. (Figura 4-17).



Figura 4-17. Varrição no bairro da Asa Norte. Fonte: Fernando Aragão, 2007.

### 4.1.3. Sub-bacia do C.O.

A sub-bacia do C.O. ocupa uma área de 5,43 km<sup>2</sup>, localizada na Asa Norte do Plano Piloto de Brasília. Na Tabela 4-1 citada no capítulo anterior, estão listadas as quadras/setores que compõe essa área.

Essa sub-bacia tem como cabeceira o Autódromo Nelson Piquet, com uma pista de 5475m de comprimento, conforme observado na Figura 4-18. Nesse local ocorrem eventos esportivos, pelo menos uma vez por mês, como corridas de automóveis, motocicletas e caminhões, além de concertos musicais.



Figura 4-18. Visão aérea do autódromo de Brasília.

O local possui uma pista asfaltada e solo exposto em sua maioria, mas abriga também arquibancadas, o Cine Drive-In e um kartódromo. É uma região em que ocorre o derrame de combustíveis e óleos na pista que podem ser carregados pela água da chuva e encaminhados até o Lago Paranoá.

No sentido montante - jusante encontram-se as quadras Setor de Grandes Áreas Norte SGAN 905, 906, onde se localizam centros educacionais e um setor de lavajatos/oficinas, que podem ser observados nas Figura 4-19 e Figura 4-20, respectivamente. A SGAN 906 está mais ocupada por edifícios do que a 905, onde ainda existem muitos lotes com vegetação rasteira. O Colégio Militar de Brasília, envolve uma grande região com poucas áreas impermeáveis, predominando a presença de campos para atividades esportivas e solo exposto/ gramíneas.



Figura 4-19. Centros educacionais na SGAN 905 e 906.



Figura 4-20. Setor comercial com lava-jatos e oficinas na SGAN 905.

Mais adiante, encontra-se o setor habitacional de casas geminadas norte SHCGN nas quadras 705, 706 e 707 e duas quadras comerciais, os setores comerciais residenciais norte, SCRN 704/705 e 706/707.

O SCRN 704/705 é composto por prédios de três andares, que abrigam no térreo estabelecimentos comerciais, como restaurantes, papelarias, e predominantemente oficinas mecânica de automóveis conforme observado nas Figura 4-21 a Figura 4-23. Percebe-se, inclusive, derramamento de líquidos, junto ao meio-fio, que são direcionados para as boca de lobo.



Figura 4-21. Oficinas predominando na SCRN 704/705.



Figura 4-22. Detalhes das oficinas dentro da quadra e óleo derramado na rua.

Figura 4-23. Frente da SCRN 704/705.

Na comercial 706/707 há uma maior variedade quantos aos estabelecimentos: restaurantes, cafeterias, academias, bancos, papelarias, lojas de materiais de construção, e também algumas oficinas mecânicas. Essas quadras comerciais caracterizam-se por serem quase que totalmente impermeabilizadas, com exceção de algumas poucas árvores ao redor (Figura 4-24 a Figura 4-26).



Figura 4-24. Entrada da SCRN 706/707.



Figura 4-25. Dentro da SCRN 706/707.



Figura 4-26. Saída da SCRN 706/707.

A SHCGN 707 é uma quadra que possui como frente um setor comercial composta por edifícios de um andar com vários estabelecimentos comerciais e o fundo é composto por casas e edifícios residenciais de até três andares, onde já é possível observar a presença de jardins e áreas de infiltração (Figura 4-27 a Figura 4-30).



Figura 4-27. Frente da quadra 707.



Figura 4-28. Escola no fundo da quadra 707.



Figura 4-29. Casas e edifícios residenciais na quadra 707.



Figura 4-30. Destaque para os container de lixo.

As características de cada tipo de quadra seguem um padrão. A organização da SHCGN 707 se repete nas quadras SHCGN 705 e 706, conforme observado nas Figura 4-31 e Figura 4-32. Na Figura 4-33 a Figura 4-35 encontram-se as diferentes disposições do lixo urbano nessas quadras: em contêineres plásticos ou metálicos, em cestos de lixo verticais ou dispostos diretamente nas calçadas. Os dois primeiros são os considerados mais corretos, visto que o lixo disposto nas calçadas pode ser carregado pela força da chuva e, além de entupir as bocas de lobo, podem atingir o Lago Paranoá pelas galerias de águas pluviais.



Figura 4-31. Frente da quadra 705N.



Figura 4-32. Edifícios e casas residenciais na 705.



Figura 4-33. Contêineres e sacos de lixo na quadra 706N.



Figura 4-34. Lixo colocados em cestos verticais nas calçadas.



Figura 4-35. Sacos de lixo dispostos em frente as casas residenciais direto na calçada.

Descendo um pouco mais a sub-bacia, encontram-se as Superquadras Norte SQN 305, 306, 307, 105, 106 e 107 que são quadras residenciais compostas por edifícios de seis andares, as quadras de comércio local norte CLN 304, 305, 306, 307, 105, 106 e 107, quadras comerciais compostas de térreo e subsolo comerciais (Figura 4-36, Figura 4-37, Figura 4-38). O mesmo padrão se repete abaixo do Eixo Rodoviário (Eixão) com as SQN 206, 208, 405, 406, 407 e 408 ( os edifícios das últimas quadras, 400, possuem apenas três andares), além das CLN 207/208, 205/206, 405, 406/407 e 408/409 (Figura 4-39 e Figura 4-40).



Figura 4-36. SQN 107. Destaque para os containers de lixo.

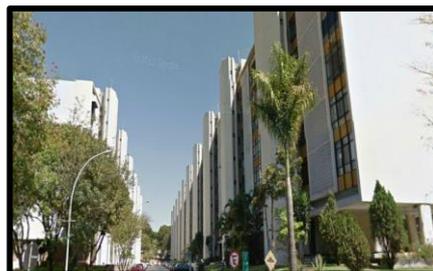


Figura 4-37. SQN 307



Figura 4-38. CLN 305/306. Destaque para os containers de lixo.



Figura 4-39. SQN 405. Destaque para os sacos de lixo acumulados nas calçadas.



Figura 4-40. SQN 206.

Nessas quadras normalmente há um lugar reservado para a coleta de lixo, conforme mostrado nas Figura 4-41 e Figura 4-42. Na Figura 5-30 são mostrados os garis juntando todas as sacolas de lixo em um único local para facilitar o transporte ao caminhão. Na Figura 5-31 é mostrado como os blocos das superquadras se organizam quanto à disposição dos sacos de lixo em contêineres e lixeiras.



Figura 4-41. Momento da coleta de lixo na SQN 105, quando todos os sacos foram organizados para serem colhidos pelo caminhão.



Figura 4-42. Containers de um bloco da SQN 305.

Mais abaixo existem as quadras 604, 605, 606, 607 e 608 ocupadas, predominantemente, por escolas, hospitais e clínicas (Figura 4-43 a Figura 4-46).



Figura 4-43. Escola na 604.



Figura 4-44. HUB na 604.



Figura 4-45. Clínica Odontológica da UnB na 605.



Figura 4-46. Hospital na 608.

No final da sub-bacia está a Universidade de Brasília (UnB), composta por conjunto de bloco de edifícios residenciais para servidores e professores da universidade, com seis andares, e os prédios de sala de aula, laboratórios entre outras atividades educacionais. Há também centros de convivência, com posto de combustível, restaurantes e lava-jato. Na Figura 4-48 é mostrada uma das entradas do ICC, o maior prédio da universidade, com cerca de 700m de extensão que abriga diversos cursos. A saída da galeria do C.O. pode ser vista na Figura 4-49, e situa-se em uma grande área verde que abriga o Centro Olímpico da UnB.



Figura 4-47. Colina: edifícios residenciais da UnB.



Figura 4-48. Instituto Central de Ciências, maior prédio da Universidade de Brasília



Figura 4-49. Saida da galeria para o Lago Paranoá no C.O.

Pode-se notar nas fotos a presença de árvores ou uma vegetação rasteira ao redor das áreas construídas. Isso permite que, embora sejam áreas pequenas, ocorra a infiltração da água da chuva, e haja um retardamento do escoamento pluvial, uma diminuição do pico das ondas de cheia e retenção de poluentes.

#### 4.1.4. Sub-bacia do Iate

A sub-bacia do Iate tem características de ocupação diferente da bacia do C.O. devido a predominância de setores comerciais em sua área. Essa sub-bacia tem de 8,92 km<sup>2</sup> e tem como cabeceira o Setor Militar Urbano de Brasília (SMU) no Eixo Monumental e exultório no Iate Clube de Brasília.

Na porção mais a montante da sub-bacia encontra-se, o Setor Militar de Brasília (SMU), o Setor de Garagens Oficiais Norte (SGON), o Monumento JK e o Setor de Administração Municipal (SAM), onde se encontra o palácio do Buriti e o Tribunal de Contas do DF.



Figura 4-50. Setor Militar Urbano.



Figura 4-51. Palácio do Buriti.



Figura 4-52. Monumento JK.

Mais abaixo na bacia encontra-se o Complexo Poliesportivo Ayrton Senna, que integra o Estádio Nacional Mané Garrincha, o Ginásio Nilson Nelson e parte do Autódromo Nelson Piquet. Essa área é de grande importância para o estudo, visto que o mesmo foi desenvolvido enquanto o estádio estava sendo construído e provavelmente influenciou na qualidade das águas pluviais, principalmente quanto aos sedimentos carreados do local.



Figura 4-53. Ginásio Nilson Nelson.



Figura 4-54 Estádio Nacional Mané Garrincha.

Em seguida, encontra-se o Setor Hoteleiro Norte (SHN) (Figura 4-55 a Figura 4-58), uma área de grande relevância para este trabalho tendo em vista a quantidade de obras nessa região, referentes aos preparativos para a Copa das Confederações de 2013 e a Copa do Mundo de 2014. Essas obras passaram pela etapa de movimentação do solo, e possivelmente liberaram uma quantidade de sedimentos registrada no monitoramento da água da galeria.



Figura 4-55. Setor Hoteleiro Norte.



Figura 4-56. Obras no Setor Hoteleiro Norte.



Figura 4-57. Obras no Setor Hoteleiro Norte.



Figura 4-58. Obras no Setor Hoteleiro Norte.

Ao lado doesse setor, encontra-se o de Rádio e Televisão Norte (SRTVN). Destaca-se o número elevado de carros estacionados ao redor dos prédios, que se utilizam até mesmo das áreas verdes como locais de estacionamento.



Figura 4-59. Setor de Radio e Tv Norte.

Esse grande número de veículos repete-se no Setor Comercial Norte (SCN) e no Setor Bancário Norte (SBN), onde embora a maioria dos prédios tenha estacionamentos, eles não são suficientes pra suprir a demanda.



Figura 4-60. Concessionária no Setor Comercial Norte (SCN).



Figura 4-61. Edifícios no setor comercial norte.



Figura 4-62. Setor Bancário Norte (SBN)



Figura 4-63. Estacionamentos no SBN.

A sub-bacia também apresenta o Setor Médico Hospitalar Norte (SMHN) (Figura 4-64e Figura 4-65). Nele encontram-se clínicas médicas e o Hospital Regional da Asa Norte (Figura 4-65). São locais onde há fluxo intenso de carros e pessoas.



Figura 4-64. Clínicas no Setor Médico Hospitalar Norte.



Figura 4-65. HRAN.

No Setor de Difusão Cultural Norte (SDCN) e no Setor de Diversão Norte, encontram-se o Teatro Nacional e um *shopping center*. Nesse setor, observa-se que são locais de grandes espaços construídos e a presença de estacionamentos com grande número de vagas, implicando em uma área impermeável bastante elevada pela utilização de pavimento asfáltico.



Figura 4-66. Shopping Center.



Figura 4-67. Teatro Nacional.

A sub-bacia do Iate também integra o Setor de Autarquias Norte (SAN), onde hoje se encontram algumas Autarquias como o DNIT e o DNPM (Figura 4-68 e Figura 4-69). Essa área tem relevância por apresentar as obras para a Sede da Polícia Federal, onde a movimentação de terra é intensa gerando quantidades de sedimentos. Sacos de área foram colocados a fim de desviar o escoamento superficial nas enxurradas e conter o volume de sedimentos.



Figura 4-68. Setor de Autarquias Norte, prédio do DNIT.



Figura 4-69. Setor de Autarquias Norte, prédio do DNPM.

Essa sub-bacia também engloba uma pequena parte da Esplanada dos Ministérios (Figura 4-70), próximo a L2 Norte. Nesses locais há grande circulação de veículos, e apesar da impermeabilização causada pelos prédios há a presença de grandes áreas verdes. É um local muitas vezes destinado a eventos comemorativos durante os finais de semana, gerando um acúmulo de resíduos no local.



Figura 4-70. Início da Esplanada dos Ministérios.

Mais a oeste da sub-bacia estão as SHCGN e as SCRN 702, 703 e 704., igualmente ao que ocorreu na sub-bacia do C.O., são quadras que possuem na frente estabelecimentos comerciais e ao fundo casas ou edifícios residenciais de até três andares.



Figura 4-71. Colégio na 702.



Figura 4-72. SCRN 702/703.

Apesar de uma grande abrangência comercial, nessa sub-bacia também pode ser encontrado as superquadras residenciais SQN 302, 303, 304, 102, 103, 104, 202, 203, 204, 402, 403 e 404. Essas quadras seguem os mesmo padrões, edifícios com seis andares (com exceção das 400s) com áreas verdes arborizadas entre os edifícios.



Figura 4-73. SQS 302.



Figura 4-74. SQS 303.

Entre as quadras residenciais situam-se as Comerciais Locais Norte (CLN) 302, 303, 304, 102, 103, 104, 202, 203, 204, 402, 403, 404. Na Figura 4-75 observa-se uma dessas comerciais e os contêineres de lixo na rua para melhor acesso da coleta.



Figura 4-75. Quadra comercial com os contêners de lixo disposto na rua.

Próximo ao exultório, o uso e ocupação da bacia apresenta-se menos urbanizado. No Setor de Grandes Áreas Norte, existem alguns órgãos como a Companhia de desenvolvimento do Vale do São Francisco e Parnaíba (Codevasf), Laboratório Central de Saúde (Lacen), Serviço Federal de Processamento de Dados (SERPRO) e o Setor de Embaixadas Nortes (SEN), onde se encontram algumas embaixadas. Existem também

grandes áreas verdes, onde se pretende futuramente fazer a instalação de uma bacia de retenção.



Figura 4-76. Vista frontal do SERPRO.



Figura 4-77. Vista frontal da CODEVASF



Figura 4-78. OIT.



Figura 4-79. Embaixada do Senegal.



Figura 4-80. Local de provável implantação da Bacia de Detenção.



Figura 4-81. Saída da galeria para o Lago Paranoá no Iate Clube de Brasília.

Há um predomínio de áreas abertas mais na cabeceira da bacia e no seu exultório, enquanto que no centro da sub-bacia o uso e ocupação predominante é o comercial, sendo intensa a movimentação de veículos no local com áreas bastante impermeabilizadas.

## **4.2. MONITORAMENTO**

Para a realização do estudo das bacias urbanas foi necessário o levantamento de dados quantitativos e qualitativos dos corpos d'água, a fim de determinar as cargas dos poluentes que aportam no lago.

Os principais dados quantitativos envolvem os valores das precipitações ocorridas nas áreas de interesse e as vazões geradas nos eventos chuvosos. Alguns desses dados foram fornecidos por instituições que monitoram estações pluviométricas e disponibilizam os dados via internet, como o Inmet, os demais foram obtidos por meio da instalação de equipamentos de medição de chuva e nível, pluviógrafos e linígrafos, respectivamente, gerenciados por este projeto. As concentrações foram obtidas por meio da coleta e análises de amostras no laboratório com o auxílio de um amostrador automático.

### **4.2.1. Instalação de equipamentos**

#### **4.2.1.1. Precipitação**

Para a medição da precipitação, foram utilizados pluviógrafos em pontos estratégicos ao longo das bacias em estudo.

O critério para a escolha da localização foi o posicionamento na bacia, como também a facilidade de acesso para a manutenção dos equipamentos e para a coleta dos dados. Assim, a Bacia do C.O. possui três pontos de medição de chuva: ETA Norte, no qual a CAESB é a responsável, quadra residencial SQN 106 e Universidade de Brasília, prédio do SG 12, que sedia PTARH (Figura 4-82). Ressalta-se que os dois últimos são alocados em cima de telhados.

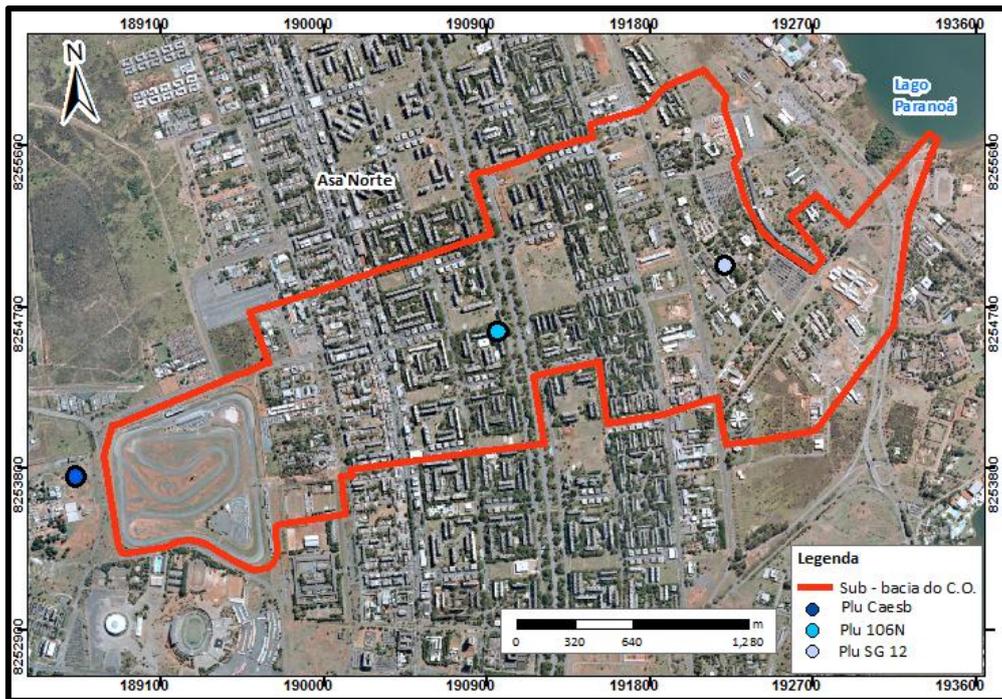


Figura 4-82. Distribuição espacial dos pluviômetros na Bacia do C.O.

A Bacia do Iate está coberta por 5 pluviógrafos (Figura 4-83): Inmet, ETA Norte-CAESB, SQN 303, DNIT e Iate. Os dados do pluviógrafo do Inmet são atualizados a cada 1 hora e de livre acesso no sítio eletrônico da instituição, o que facilitou a realização das saídas de campo, por proporcionar em tempo real se havia ocorrido precipitação e com isso se haveriam amostras a serem colhidas.

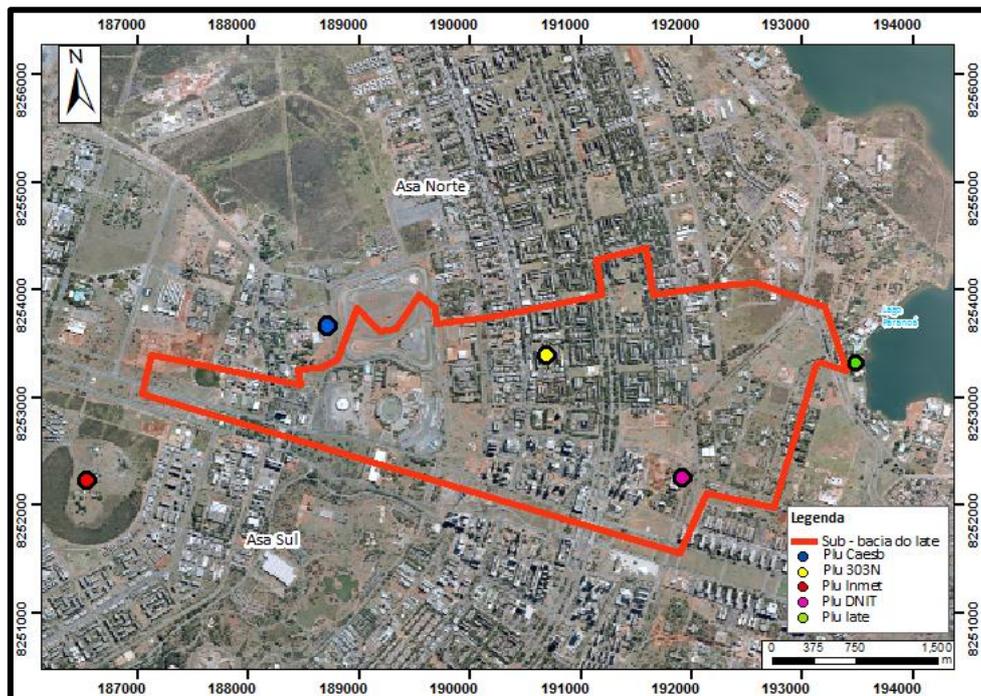


Figura 4-83. Distribuição espacial dos pluviômetros na Bacia do Iate.

Os equipamentos no DNIT, SQN303 e no Iate também estão em cima de telhados. Deve-se observar que o pluviógrafo do Inmet tem discretização de 1 hora, o da CAESB 10 minutos, enquanto que os demais de 5 em 5 minutos, sendo a responsabilidade de monitoramento, desde a instalação até a aquisição dos dados, do Projeto Maplu.

A seguir estão expostas algumas fotos dos pluviógrafos no seu respectivo local de instalação (Figura 4-84 a Figura 4-87). Observa-se que no telhado do SG 12 e no telhado da 106N existem dois pluviógrafos. Nesses locais já haviam esses equipamentos instalados há 2 anos, mas os dados estavam apresentando erros. Optou-se, então, em instalar novos pluviômetros no local a fim de garantir a confiabilidade dos dados.



Figura 4-84. Pluviógrafos no telhado do prédio SG-12 da UnB.

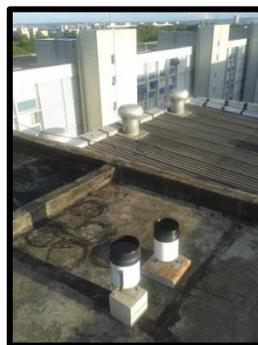


Figura 4-85. Pluviógrafos no telhado do edifício na SQN106.



Figura 4-86. Pluviógrafo no telhado do DNIT.



Figura 4-87. Pluviógrafos no telhado do Iate Clube Brasília.

A Tabela 4-2 mostra as principais características de cada ponto de monitoramento de precipitação, como o modelo do aparelho, localização e o tempo de discretização dos dados. Os equipamentos instalados pelo projeto Maplu são do tipo báscula da *Onset* acoplados a uma placa de concreto para fornecer estabilidade ao aparelho.

Tabela 4-2. Características da Bacia do C.O. e da bacia do Iate.

PONTO DE INSTALAÇÃO	TIPO/MODELO	LOCALIZAÇÃO (UTM)	DISCRETIZAÇÃO DOS DADOS
SG 12	DataLogging Rain Gage/ Onset part nºRG3	191962.7073 8255105.9801	5 min
Iate	DataLogging Rain Gage/ Onset part nºRG3	192702.7729 8253651.0598	5 min
SQN 106	DataLogging Rain Gage/ Onset part nºRG3	190831.4338 8254629.2855	5 min
SQN 303N	DataLogging Rain Gage/ Onset part nºRG3	190766.127 8253407.244	5 min
DNIT	DataLogging Rain Gage/ Onset part nºRG3		5 min
INMET	-	187114.4471 8251973.8191	1 h
CAESB	-	188645.7532 8253610.2807	10 min

#### 4.2.1.2. Vazão

Para determinar a vazão que é lançada no Lago Paranoá a cada evento de chuva pelas duas galerias de drenagem pluviais monitoradas, utilizou-se o linígrafo que mede a cota do nível da água que com o auxílio da curva-chave da galeria determina-se a vazão que está passando pelo local no momento.

Para determinação da curva-chave, utilizou-se o ADCP na galeria do C.O (Figura 4-88 e Figura 4-89) e o ADC (Figura 4-90 e Figura 4-91). Ambos utilizam sensores de velocidades das partículas na água.

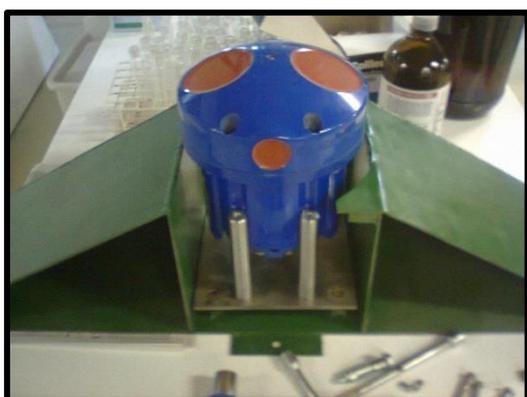


Figura 4-88. ADCP – equipamento para a determinação da curva-chave.



Figura 4-89. Local onde foi medido a curva-chave da galeria do C.O.



Figura 4-90. Aparelhos que compoe o ADC.



Figura 4-91. Utilização do ADC em campo.

A curva-chave da galeria do C.O. foi definida com a ajuda do ADCP. Tentou-se determinar a curva-chave da galeria do Iate com o auxílio do equipamento ADC, medidor de velocidade por efeito *doppler*, mas não foi possível devido à limitação do equipamento, que mede as velocidades até 2m/s, enquanto que na galeria a velocidade atinge valores muito maiores.

Assim, utilizou-se outra estratégia para a determinação da curva-chave na galeria do Iate por meio da Equação 4-1, sendo assumida a hipótese de que ocorre escoamento crítico antes de um degrau dentro da galeria e se determinou a vazão. É importante destacar que essa hipótese pode levar erros consideráveis se o escoamento no trecho que antecede o degrau estiver em regime supercrítico, o que é possível. Assim a vazão na galeria pode ser maior que os valores estimados.

$$\frac{dE}{dy} = 0 \Rightarrow yc = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3} \quad \text{Equação 4-1}$$

Com a equação e com a medição da variação da cota nos dois pontos de lançamento das galerias, foi possível estimar a vazão que aportava no Lago durante os eventos de precipitação.

A medição das cotas foi feita por linígrafos de boia, medindo a cota média a cada 5 minutos. O local e os equipamentos instalados são mostrados na Figura 4-92 a Figura 4-97.



Figura 4-92. Linígrafo de bóia utilizado para os dois pontos de lançamento.



Figura 4-93. Perfuração no tubo para que a água tivesse acesso livre.



Figura 4-94. Tubulação com quase 5m de comprimento.



Figura 4-95. Ponto de instalação do linígrafo no Iate, destaque para o PV onde havia o acesso à galeria.



Figura 4-96. O local onde o linígrafo foi afixado para armazenamento dos dados.

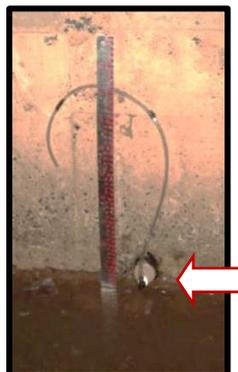


Figura 4-97. Vista do saída de comunicação entre o poço e a galeria do Iate, com uma régua linimétrica instalada na parede.

Na Figura 4-92 estão todos os componentes dos linígrafos. A bóia é amarrada em uma das pontas a um cordão. Na outra ponta é colocado o contrapeso e o cordão é passado na

roldana acoplada ao *datalogger* que armazena as variações na rotação, fornecendo o valor do nível no poço conectado a galeria.

O poço piezométrico é mostrado na Figura 4-95, onde há um tubo de ligação e a galeria. Foi necessária a colocação da tubulação perfurada de quase 5m de comprimento (Figura 4-93 e Figura 4-94) para proteção da boia.

No topo do poço piezométrico foi instalado um suporte de madeira que suporta os componentes de linígrafos (Figura 4-96). Foi medida a diferença entre a marcação do linígrafos e a cota na galeria, com a ajuda de uma régua linimétrica instalada na parede interna da galeria.

Na bacia do C.O. a instalação do abrigo dos linígrafos já estava construída, sendo feita algumas alterações. As instalações podem ser observadas nas Figura 4-98 a Figura 4-100.



Figura 4-98. Caixa de concreto que abriga o linígrafo na Bacia do C.O.



Figura 4-99. Caixa de concreto aberta com o linígrafo.



Figura 4-100. Saída do tubo de interligação entre a galeria e o poço da boia.

Na Figura 4-98 é mostrada a caixa de concreto que abriga o linígrafo, possuindo duas tubulações verticais, uma para o poço da boia e a outra para a movimentação contrapeso

(Figura 4-99). A saída do tubo de interligação, de 60mm, está mostrada na Figura 4-100.

Percebe-se nas imagens acima que o local de monitoramento no C.O possui melhores condições de trabalho, visto que a galeria fica descoberta no exultório. No entanto é um local, que, embora esteja dentro da universidade, requer sistema de segurança para impedir furto ou danos aos equipamentos, por isso o uso de caixas de concreto, que são fechadas com cadeados.

Na bacia do C.O. o ponto de medição está localizado próximo ao exultório, enquanto que na Bacia do Iate, o ponto de medição fica a 200m do encontro da galeria com o Lago Paranoá.

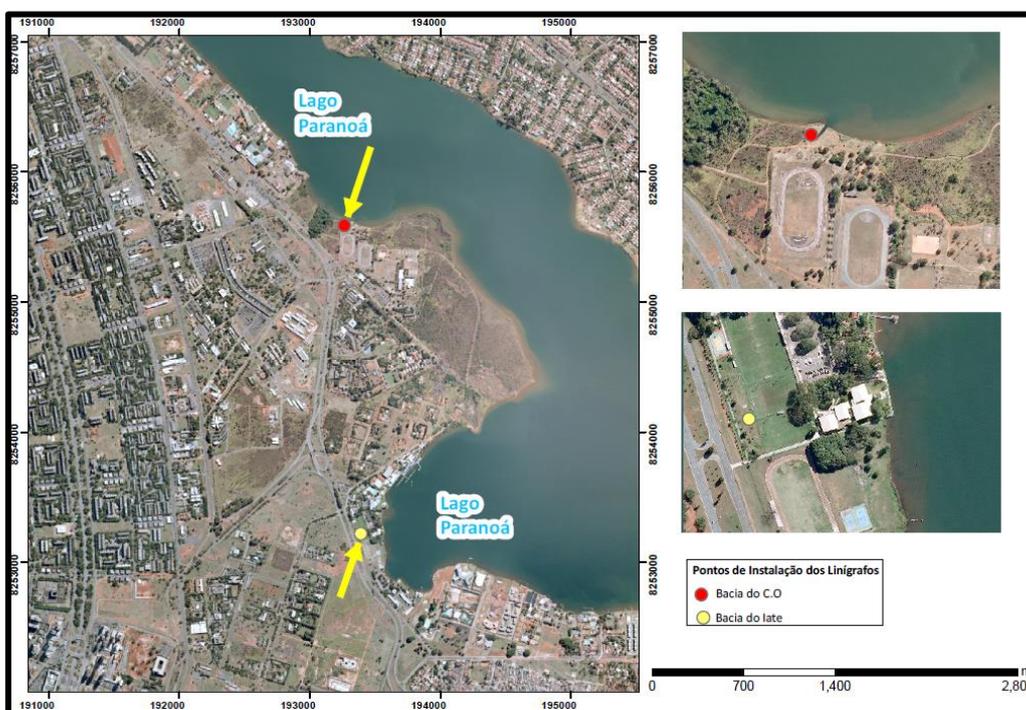


Figura 4-101. Mapa de localização dos pontos de medição de vazão.

Na Tabela 4-3 são mostradas as localizações e o intervalo de tempo para aquisição dos dados. Para ambos locais foram linígrafos da OTT Thalimedes do tipo de boia.

Tabela 4-3. Características dos linígrafos instalados

LOCAL	TIPO/MARCA	LOCALIZAÇÃO	DISCRETIZAÇÃO DOS DADOS
C.O.	Boia/OTT Thalimedes	193407,6 L 8255565,88 S	5 min
Iate	Boia/OTT Thalimedes	193449,15 L 825324,26 S	5 min

### 4.2.1.3. Concentração dos poluentes

Para a coleta de amostras de águas pluviais foi necessária a utilização de um amostrador automático (Figura 4-102 a Figura 4-106). Na Figura 4-104 é mostrada a utilização de sacos plásticos presos em encaixe azuis (Figura 4-105), o que facilita o recolhimento das amostras em campo e nos procedimentos iniciais do laboratório. Um dos amostradores, por ser mais antigo, utiliza garrafas plásticas, mostrados na Figura 4-106.



Figura 4-102. Amostrador Automático ISCO 6400.



Figura 4-103. Amostrador automático sem a tampa.



Figura 4-104. Amostrador automático por dentro: com o computador para processamento e com os locais de armazenamento das amostras.



Figura 4-105. Embalagem plástica de 1L para acondicionar as amostras junto com os encaixes azuis padrão para o amostrador.



Figura 4-106. Garrafas plásticas de 1L utilizadas dentro dos amostradores automáticos (2º tipo).

Quando o nível da água atinge uma determinada cota dentro da galeria, o aparelho é acionado a partir de um sensor de nível e colhe as amostras com intervalo de tempo

programado, no caso, a cada 5 minutos. Essa altura inicial era determinada no momento da instalação e foi variada ao longo do período de monitoramento.

Tabela 4-4 – Características dos amostradores instalados.

LOCAL	TIPO/MARCA	LOCALIZAÇÃO(UTM)	DISCRETIZAÇÃO DOS DADOS
C.O.	ISCO	193407,6 L 8255565,88 S	5 min
Iate	ISCO	193449,15 L 825324,26 S	5 min

Os locais onde foram instalados os amostradores foram os mesmos onde foram instalados os linígrafos (Figura 4-101). Nas Figura 4-105e Figura 4-108 e são mostrados os locais de instalação dos amostradores, dentro de caixas de concreto, na sub-bacia do Iate e na sub-bacia do C.O., respectivamente.



Figura 4-107. Amostrador Automático instalado na Bacia do C.O.



Figura 4-108. Amostrador Automático instalado na Bacia do Iate.

O amostrador automático funciona em conjunto com um sensor de nível, e normalmente são adquiridos juntos (Figura 4-109). No entanto, o sensor original apresentou defeito, e não funcionou corretamente, sendo necessárias adaptações. Assim, foi adquirido um sensor um sensor desenvolvido na UFPR, composto por uma boia de mercúrio (Figura 4-110). Esse novo sensor possui um diâmetro muito superior ao do original, necessitando de adequações para seu uso.



Figura 4-109. Sensor de nível padrão da Isco.

Na sub-bacia do Iate a dificuldade de instalação consistia em colocar a boia do sensor junto com a boia do linígrafos, o que levou a utilização da tubulação de grande comprimento e diâmetro para abrigar a boia do linígrafo, permitindo um bom funcionamento de ambos. Na Figura 4-110 é mostrado o detalhe da boia de mercúrio que na posição vertical deixa o amostrador em situação de espera e na posição horizontal aciona o início da coleta.



Figura 4-110. Sensor de nível composto pela bóia de mercúrio.



Figura 4-111. Detalhe para a fiação do sensor de nível dentro do poço.

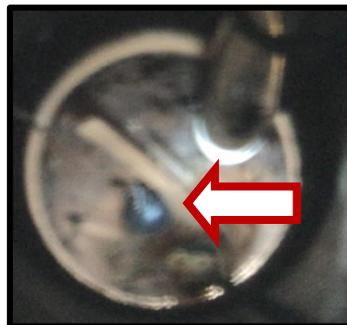


Figura 4-112. Fundo do poço que contem o sensor e o linígrafo. Destaque para a bóia do sensor de nível.

Na Figura 4-111 é mostrado como a fiação da boia do sensor foi colocada no poço piezométrico e na Figura 4-112 é mostrado o posicionamento da mesma dentro do poço, dividindo espaço com a tubulação que protege a boia do linígrafo.

Na sub-bacia do C.O os problemas com a instalação do sensor foram maiores, pois nesse local não havia um poço construído largo o suficiente para acolher a boia. Assim, foi construída uma proteção na parede interna da galeria onde foi presa a boia no sentido transversal, permitindo o movimento longitudinal, e com isso acionava o amostrador.



Figura 4-113. Tentativa inicial de instalar o sensor de nível a jusante da galeria de drenagem.



Figura 4-114. Instalação da proteção na parede interna da galeria.



Figura 4-115. Gaiola com o sensor de nível do amostrador automático. Detalhe para a ligação entre a bóia e o amostrador.

#### 4.2.2. Análise de Qualidade da água

Com os equipamentos em funcionamento, iniciou-se a coleta de amostras para obtenção das informações, na época chuvosa. A amostragem foi feita por evento chuvoso, ou seja, a cada precipitação eram coletadas amostras.

O primeiro evento de precipitação ocorreu no dia 21/09/12, mas nenhuma amostra foi coletada, devido a falha no sensor de nível. Nos eventos posteriores, iniciou-se a amostragem de qualidade de água, na sub-bacia do Iate em outubro, e na sub-bacia do C.O. em novembro, devido a problemas também no linígrafo.

Para a seleção dos parâmetros de qualidade da água, escolheram-se aqueles que seriam mais significativos e que são usados usualmente para esse tipo de estudo, como a DQO, o nitrogênio e o fósforo, além de parâmetros físicos como a turbidez, condutividade e sólidos.

Na Tabela 4-5 estão resumidos os dados referentes aos parâmetros estudados, método de análise e equipamentos utilizados. Os métodos foram adotados pelas metodologias sugeridas pelos *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater* ou pelo fabricante dos equipamentos.

Tabela 4-5. Resumo dos parâmetros e métodos de análises de qualidade de água utilizados.

PARÂMETRO	MÉTODO	NÍVEL DE DETECÇÃO	EQUIPAMENTO	MODELO
Condutividade	Eletrométrico	0-200S/cm	Condutímetro	HACH sension5

<b>Turbidez</b>	Nefelométrico		Turbidímetro	HACH 2100AN
<b>TDS</b>	Baseado em solução de cloreto de sódio	0-50,000mg/L	Condutivímetro	HACH sension5
<b>Nitrito</b>	Diazotização	0- 3.0 mg/L	Espectrofotômetro	DR-2010
<b>Nitrato</b>	Redução do Cádmi		Espectrofotômetro	DR-2010
<b>Amônia</b>	Nessler		Espectrofotômetro	DR-400
<b>Fósforo Reativo</b>		0-5.0mg/L	Espectrofotômetro	DR-400
<b>Fósforo Total</b>	Digestão de ácido persulfato	0-30mg/L	Espectrofotômetro	DR-400
<b>Sólidos Totais</b>	Gravimétrico	-	-	-
<b>Sólidos Dissolvidos</b>	Gravimétrico	-	-	-
<b>Sólidos Suspensos</b>	Gravimétrico	-	-	-
<b>DQO</b>	Digestão de Hg	0-150mg/L LR 0-1500mg/L HR	- Espectrofotômetro - Reator	DR-2010 DQO HACH

Para avaliação geral das cargas difusas, os resultados foram organizados temporalmente, ou seja, por ordem de acontecimentos dos eventos e pela sequência de amostragem de cada evento. Com isso, é possível a visualização do comportamento dos parâmetros de qualidade da água ao longo da temporada chuvosa.

Outra forma de avaliar os parâmetros de qualidade no evento chuvoso é por meio da Concentração Média no Evento - CME, que resume a relação entre a massa de poluente transportada pelo volume de água escoado e pode ser calculado pela Equação 4-2 abaixo. A CME oferece uma representação concisa de um conjunto de dados muito variável, facilitando a comparação entre diferentes eventos e locais (Novotny, 1991).

$$CME = \frac{M}{V} = \frac{\int C(t)Q(t)dt}{\int Q(t)dt} \quad \text{Equação 4-2}$$

Além disso, pode-se visualizar as variáveis de qualidade por meio da plotagem da variação temporal da concentração dos poluentes das águas do escoamento superficial, os “polutogramas”, juntamente com os hidrogramas, fornece uma visualização das concentrações ao longo das ondas de cheias.

Para examinar a variação dos parâmetros em cada evento utilizou-se os gráficos do tipo *boxplot*, que corresponde a distribuição dos dados em quartis comparados à mediana. Com esse auxílio é possível obter informações quanto à posição, dispersão e assimetria.

Depois de analisados os parâmetros isoladamente, estudou-se as cargas difusas aportadas no Lago Paranoá por essas sub-bacias. Foram calculadas as taxas (kg/ha/dia) a fim de uma melhor comparação por evento.

E em seguida realizou-se a verificação das cargas monitoradas nas duas sub-bacias com a ETE Norte, localizada na Asa Norte, para os meses mais chuvosos (novembro e janeiro), responsável por coletar e tratar os esgotos domésticos de 260 mil habitantes. Foram comparadas as cargas lançadas pelas águas pluviais dessas sub-bacias com as cargas dessa ETE que trata o esgoto com uma vazão média de 451,71L/s e possui o sistema de tratamento em nível terciário/avançado, com remoção de nutrientes (fósforo e nitrogênio), a fim de proteger a qualidade da água do lago do processo de eutrofização (SIESG, 2012).

Pra avaliação da ocorrência do “*first flush*” e a eficiência de implantação de bacias de retenção é de interesse a elaboração de curvas adimensionais de massa  $M(V)$ , que consistem na avaliação de quanto de massa de poluente é carregada em certo volume, definindo o volume que contem a maior carga poluidora. Essas curvas podem variar de evento para evento, dependendo da intensidade de precipitação, do período seco antecedente ao evento e o total precipitado, como também das condições da rede de drenagem, quantidade de deposição, acúmulo de massa poluente sobre a bacia, características da bacia e da rede de drenagem (Ferreira, 2008; Lee *et al.*, 2001).

## 4.3. MODELOS MATEMÁTICOS

### 4.3.1. SWMM

Para a simulação hidrológica das águas pluviais oriundas das galerias de drenagem urbana (fluxo e qualidade) foi utilizado o programa SWMM, muito empregado em bacias urbanas e com eficiência comprovada.

Para essas análises foram utilizados dois programas computacionais, o SWMM na versão 5.0.022 disponível gratuitamente no endereço eletrônico da EPA e o PCSWMM disponibilizado pela ChiWater em uma versão universitária gratuita. O PCSWMM possui uma interface mais amigável, com a utilização de SGI com os cálculos realizados pelo SWMM. As interfaces do SWMM e do PCSWMM podem ser visualizadas na Figura 4-116 e Figura 4-117, respectivamente.

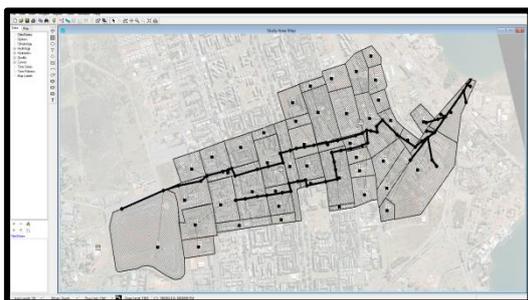


Figura 4-116. Interface do SWMM/ EPA.

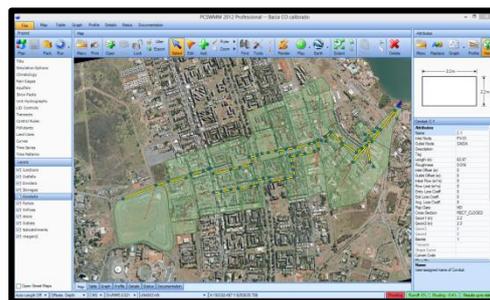


Figura 4-117. Interface do PCSWMM/ChiWater

O programa requer uma grande quantidade de informações como dados de entrada, que pode ser conseguido com a ajuda de SIG, associados a visitas de campo e a dados do projeto Maplu sobre a bacia e os dados coletados durante a fase monitoramento.

#### 4.3.1.1. Cálculos do modelo

Para a simulação dos dados no SWMM é necessário a escolha de algumas opções no modelo. Quanto às alternativas para os modelos do processo foram selecionados as opções: Chuva/Vazão, Fluxo e Qualidade da água. Já o método de infiltração adotado para a análise deste estudo foi o SCS, devido a facilidade na aquisição dos dados, que utiliza o CN como parâmetro principal.

Para o modelo de transporte foi utilizado a Onda dinâmica porque leva em consideração todos os componentes da equação de Saint-Venant promovendo uma simulação mais real, mais precisa dos fenômenos que acontece desde a precipitação ate a chegada ao Lago Paranoá pela galeria de drenagem pluvial (Tabela 4-6).

Os resultados foram calculados e registrados a cada 5min.

Tabela 4-6. Resumo dos itens selecionados no SWMM para a simulação.

<b>Tipos de modelos</b>	<b>Itens selecionados</b>
<b>Modelos de Processos</b>	Chuva/Vazão Fluxo Modelo de qualidade de água
<b>Modelo de Infiltração</b>	SCS
<b>Modelo de Transporte</b>	Onda Dinâmica

#### 4.3.1.2. Divisão da sub-bacia

A bacia hidrográfica em estudo foi dividida em sub-bacias, unidades hidrológicas superficiais, com características como permeabilidade, declividade e armazenamento consideradas homogêneas. Essa divisão foi realizada utilizando o critério de uso e ocupação do solo. Nessas sub-bacias a precipitação também é considerada uniformemente distribuída.

Cada área drena suas águas para um ponto de descarga, os nós, ou outras sub-bacias, onde ocorre o transporte no sistema de tubulações, canais, armazenamentos, gerando o escoamento e as cargas de poluição.

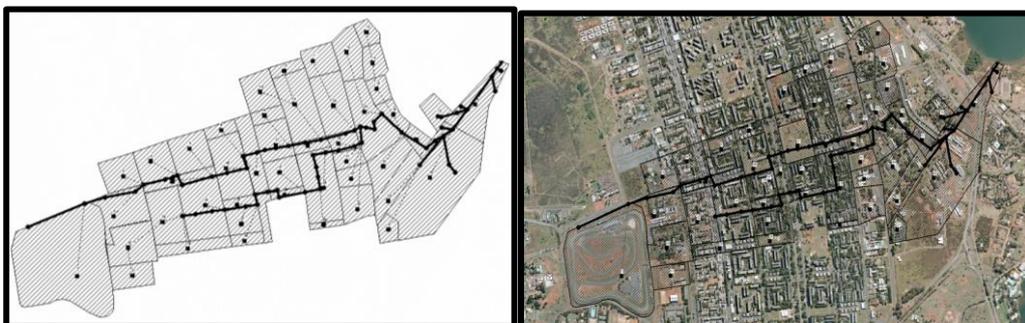


Figura 4-118. Desenho das divisões na sub-bacia do C.O.

Foram geradas, ao todo, 46 sub-bacias unidas por 62 condutos e 62 junções, direcionadas a um único ponto de saída. Assim como as sub-bacias, cada conduto e junção apresentam suas características próprias para cada local com a seção transversal ou elevação diferente, como pode ser exemplificado na Figura 4-119.

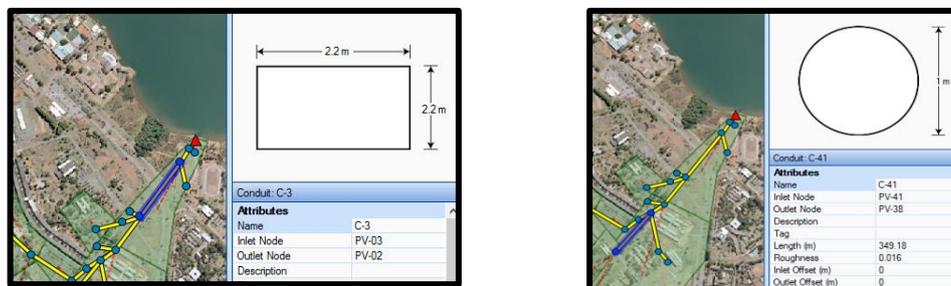


Figura 4-119. Exemplos dos tipos de condutos da galeria.

Na Tabela 4-7 é apresentado o resumo dos dados de entrada necessários a cada categoria.

Tabela 4-7 – Dados de entrada do SWMM(Kim *et al.*, 2007)

CATEGORIA	DADOS
<b>Sub-Bacia</b>	Área, Largura, Tipo de Solo, Uso e Ocupação do solo, % Impermeável.
<b>Dispositivos de drenagem</b>	Comprimento do canal/tubulação, forma, tipo do conduto, rugosidade, modelo de propagação do fluxo, profundidade do canal/tubulação.
<b>Precipitação</b>	Data, tempo (hora), altura da lâmina d'água.

#### 4.3.1.3. Sub-bacias

As características das sub-bacias, descritas na Tabela 4-8 devem ser fornecidas pelo usuário do programa.

Tabela 4-8. Parâmetros a editar nas sub-bacias.

PARÂMETRO	SÍMBOLO	UNIDADE
Área	A	ha
Largura	W	m
Declividade	S	%
Áreas Impermeáveis	AI	%
Coef. De rugosidade – sup impermeáveis	NI	-
Coef. De rugosidade de Manning – sup permeáveis	NP	-
Capacidade de armazenamento em depressões – sup impermeáveis	DI	mm
Capacidade de armazenamento em depressões – sup permeáveis	DP	mm
Áreas impermeáveis com armazenamento em depressão zero	AI	%

A área e a declividade média da bacia foram calculados em um programa de SIG e inseridos no SWMM em ha e %, respectivamente. A largura de escoamento é difícil de calcular sem os dados completos da rede. Então, foram inseridos valores de acordo com os tamanhos das áreas, e o parâmetro foi calibrado posteriormente.

As áreas impermeáveis também foram calculadas como ajuda de programa de SIG, mas foi o parâmetro mais ajustado na calibração, alterando os valores inicialmente calculados. Pois na classificação adotada do uso de solo foi variado o grau de arborização dos espaços, como edificações muito ou pouco arborizadas, estacionamento muito ou pouco arborizado, pavimentação arborizada, sendo necessárias alterações no grau de permeabilidade dessas áreas.

O coeficiente de Manning adotado foi o 0,0115, enquanto que o de permeabilidade foi de 0,14, para a capacidade de armazenamento em depressões nas áreas impermeáveis utilizou-se o valor de 1,57, enquanto que nas permeáveis foi de 6,35. Esses valores foram adotados seguindo a recomendação do manual do programa.

Nas sub-bacias os dados de uso e ocupação do solo são categorias de desenvolvimento de atividades. Exemplos de uso e ocupação da terra são residenciais, comercial, industrial, escolar, etc. Os usos do solo possibilitam a avaliação da variação espacial das taxas de poluentes, acúmulo (*build up*) e lavagem (*washoff*), nas sub bacias.

As demais características da sub-bacia do C.O. no modelo podem ser verificadas no Anexo A.

#### 4.3.1.4. Pluviometria

Três postos pluviométricos instalados na região de estudo (Figura 4-120).

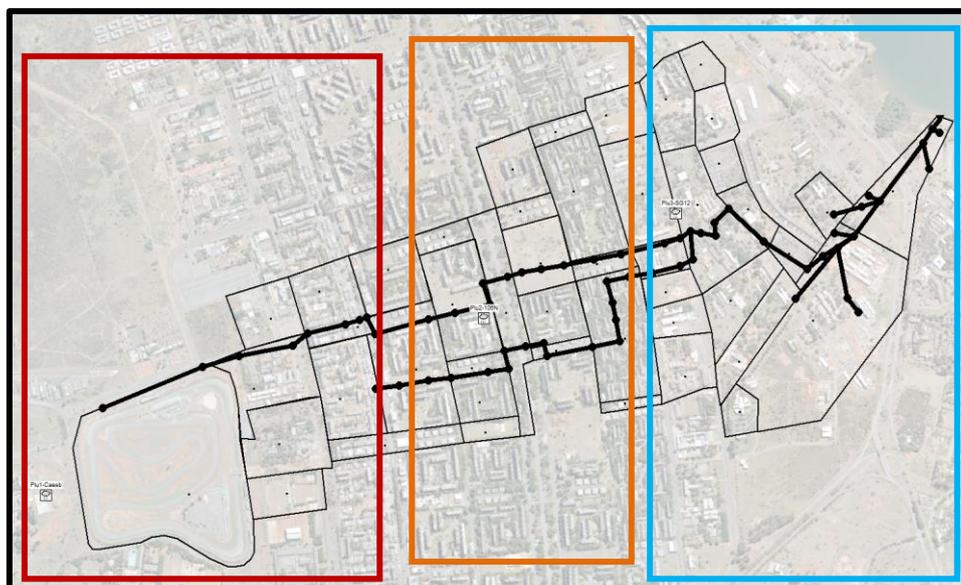


Figura 4-120. Postos pluviometricos inseridos no modelo e as sub-bacias que englobam cada um.

Os dados de precipitação podem ser fornecidos ao modelo por meio de séries com valores como a intensidade, volume acumulado ou volume, e em intervalos de tempo horários ou definidos pelo usuário. Foi escolhida a opção do volume para cada pluviógrafo utilizado, e com o intervalo de tempo de 5 ou 10min.

#### 4.4. ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DO MODELO

Para a verificação do modelo, é necessário comparar os dados observados colhidos durante o monitoramento com os dados simulados pelo modelo utilizado, no caso, o SWMM.

Os programa PCSWMM permite utilizar diferentes parâmetros, descritos a seguir.

##### 4.4.1.1. ISE rating e ISE - Integral Square Error

O ISE é a sigla para *Integral Square Error*, integral do erro quadrático, e pode ser expresso pela equação abaixo.

$$ISE = \frac{[\sum_{i=1}^N (Q_{obs}(i) - Q_{sim}(i))^2]^{1/2}}{\sum_{i=1}^N Q_{obs}(i)} \times 100 \quad \text{Equação 4-3}$$

Qobs – vazão observada

Qsim – vazão simulada

A equação calcula o erro relativo acumulado e assim quanto menor esse número, melhor aproximação do modelo com os dados observados.

##### 4.4.1.2. NS - Nash-Sutcliffe

Foi calculado também o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NS), bastante utilizado avaliação de estudos hidrológicos, expresso na equação abaixo, onde valores mais próximos de 1, refletem uma melhor coerência entre os dados.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs} - \mu)^2} \quad \text{Equação 4-4}$$

$\mu$ - média das  $Q_{obs}$

#### 4.4.1.3. SEE – Standard Error of Estimate

O SEE representa o erro padrão da estimativa, e mede o erro médio da série. É um valor também que quanto mais próximo de zero, melhor foi o resultado.

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum(Qsim - Qsim\ media)^2 - \frac{[\sum(Qobs - Qobs\ media)(Qsim - Qsim\ media)]^2}{\sum(Qobs - Qobs\ media)}}{N - 2}} \quad \text{Equação 4-5}$$

#### 4.4.1.1. RMSE – Root Mean Square Error

O RMSE corresponde a raiz quadrada do erro médio dividida pelo número de dados comparados, conforme expresso na equação abaixo. Um resumo dos parâmetros estatísticos analisados é mostrado na Tabela 4-9.

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_m^n (Qobs - Qsim)^2} \quad \text{Equação 4-6}$$

Tabela 4-9. Resumo das Análises Estatísticas utilizadas.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	NOME
ISE	Integral do erro quadrático
NS	Nash-Sutcliffe
R <sup>2</sup>	Coeficiente d correlação
SEE	Estimativa de Erro padrão
RMSE	Raiz do erro quadrático

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. ANÁLISE DOS DADOS DE CHUVA

Brasília, localizada no Centro-Oeste brasileiro, possui o clima tropical savana, no qual a chuva ocorre nos meses de setembro a abril, tendo como meses mais chuvosos dezembro e janeiro.

Em 2013, houve alterações nesse padrão. Percebe-se pela Figura 5-1 que a precipitação nos meses de novembro e janeiro foram maiores que a média histórica, atingindo marcas de 357,8mm e 452,6mm e, superando as médias de 241mm e 238mm, respectivamente. Com esse volume acumulado, o mês de janeiro de 2013 tornou-se o terceiro mês mais chuvoso registrado desde 1961, quando se iniciou o monitoramento. No número de dias chuvosos, novembro/2012 e janeiro/2013 apresentam-se com os maiores números de dias contabilizados, 22 e 24, respectivamente.

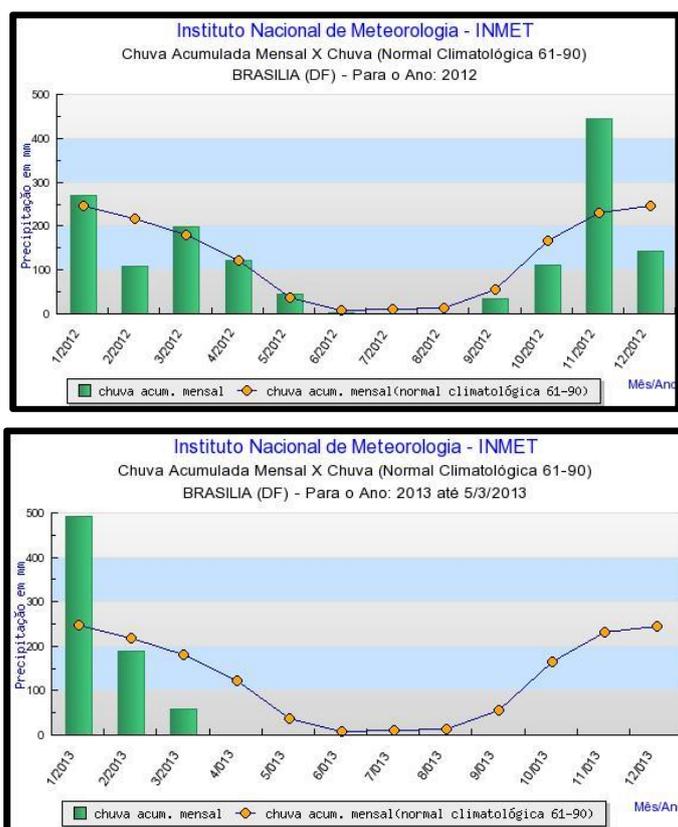


Figura 5-1. Comparação dos dados de chuvas médias acumuladas com os meses de set/12 a mar/13.

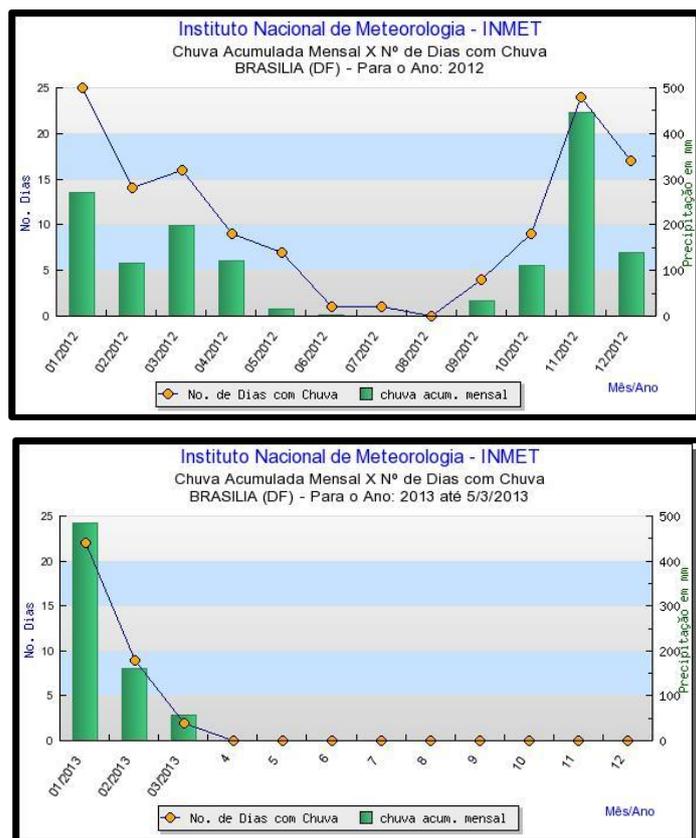


Figura 5-2. Comparação do nº médio de dias chuvosos com os dados do ano hidrológico de 2012/2013.

O pluviógrafo do Inmet, cujos dados foram mostrados anteriormente, encontra-se próximos às sub-bacias de estudo (Figura 5-3). Esse pluviógrafo localiza-se próximo à sub-bacia do Iate, cerca de 1 Km de distância, enquanto que situa-se um pouco mais afastado da sub-bacia do C.O.( cerca de 2,8 Km).



Figura 5-3. Localização do pluviômetro do Inmet comparado com as sub-bacias em estudo.

Quanto aos dados de chuva coletados neste projeto para cada sub-bacia, há um período em que não há dados registrados, referente aos meses anteriores a instalação dos

pluviógrafo, havendo apenas disponível dados não confiáveis, e que por isso não foram incluídos no gráfico da Figura 5-4.

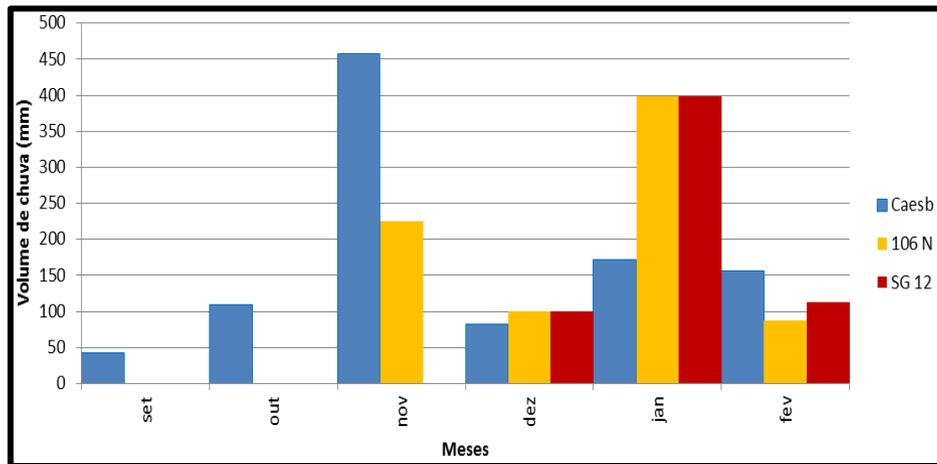


Figura 5-4. Comparação dos Hietogramas mensal do pluviógrafo na sub-bacia do C.O de set/12 a fev/13.

Outro fator importante é relativo à distribuição espacial da chuva em que os pluviógrafos do SG-12 e da 106N apresentam dados semelhantes, distinguindo do aparelho mais a montante (Caesb), o que indica que há variabilidade na distribuição ao longo da sub-bacia, mesmo sendo pequena no seu comprimento total.

Nas Figura 5-5 a Figura 5-7 foram organizados os dados de intensidade da precipitação em cada pluviógrafo localizado na sub-bacia do C.O. e do Iate. Eles foram calculados levando em consideração o volume acumulado em um determinado intervalo de tempo, no caso da Caesb, 10 min, e nos demais 5min. Percebe-se que as maiores intensidades ocorreram no centro da sub-bacia (plu SQN 106) e as menores mais a jusante (pluv. SG-12).

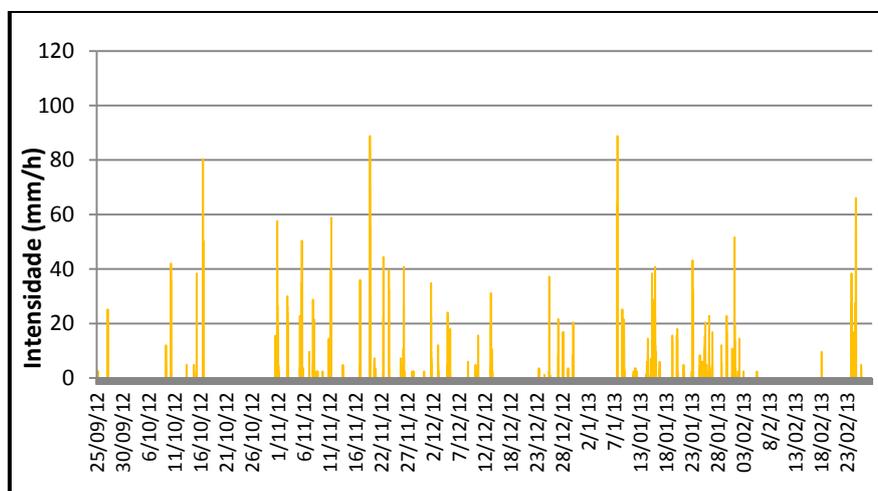


Figura 5-5. Intensidade da precipitação no pluviógrafo da CAESB a cada 10 min.

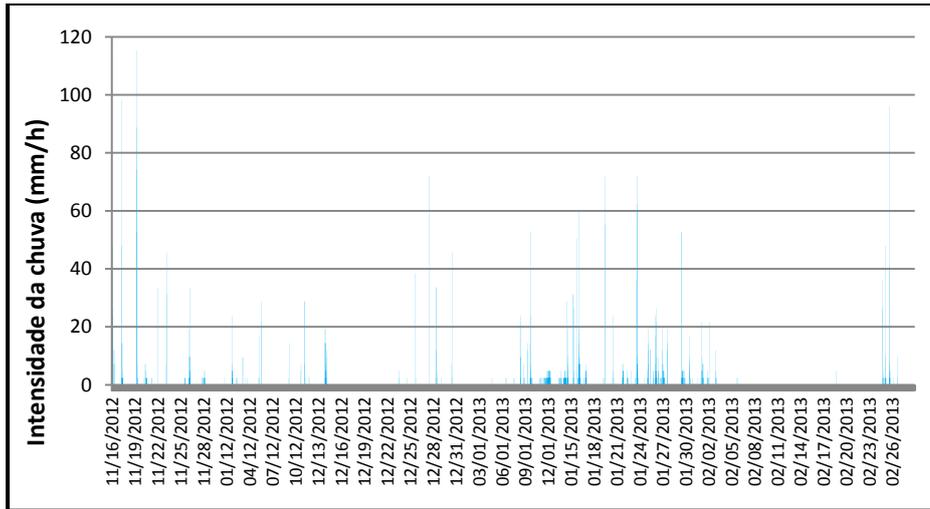


Figura 5-6. Intensidade da precipitação no pluviógrafo da 106N a cada 5 min.

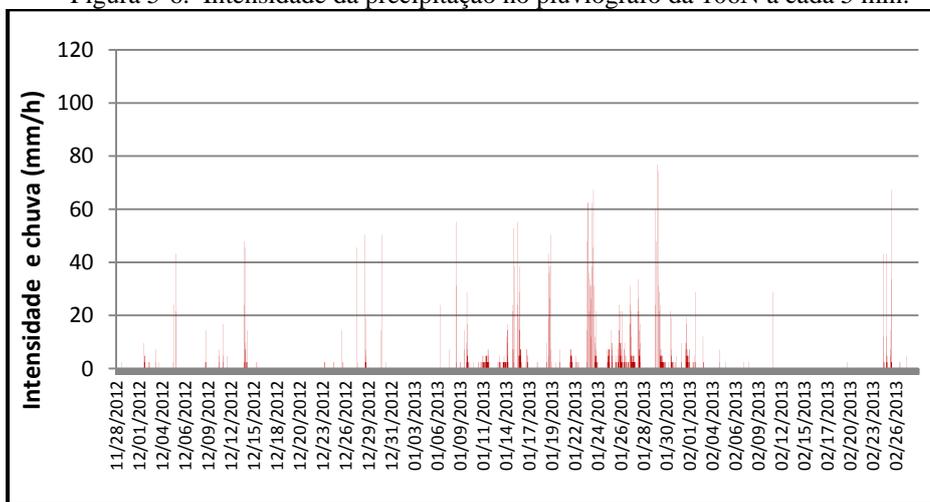


Figura 5-7. Intensidade da precipitação no pluviógrafo do SG 12 a cada 5 min.

A sub-bacia do Iate também apresentou uma lacuna nos dados no período inicial do monitoramento, onde só havia instalado o aparelho da CAESB. Em dezembro já haviam sido alocados o pluviógrafo do Iate e o da SQN 303, mas o do DNIT somente foi instalado em janeiro, devido à autorização para a sua instalação.

Percebe-se na Figura 5-8 que o mês de maior precipitação acumulada nessa sub-bacia foi o de novembro, e os pluviógrafos do Iate e SQN 303 foram instalados após a segunda quinzena do mês, e por isso, apresentaram resultados baixos. O mês de janeiro apresentou a segunda maior altura da chuva.

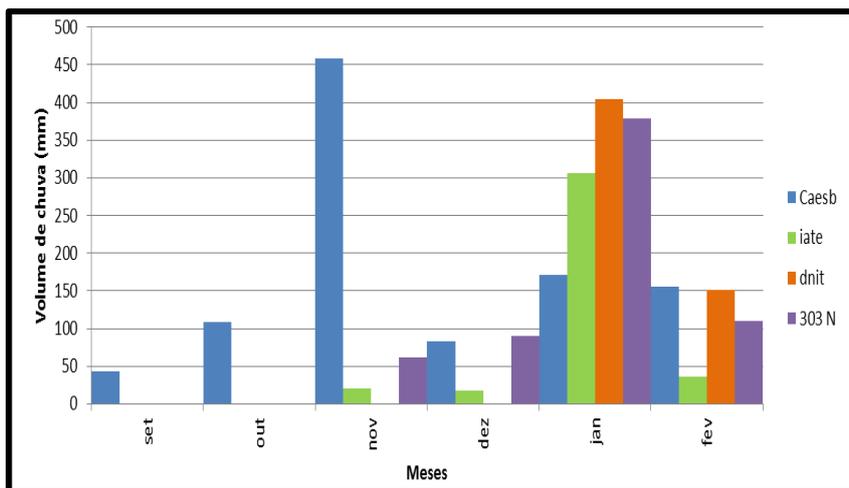


Figura 5-8. Comparação dos Hietogramas mensal do pluviometro na sub-bacia do Iate de set/12 s fev/13.

A análise de cada pluviógrafo presente na sub-bacia do Iate é mostrada nas Figura 5-9 a Figura 5-11, onde se percebe que o pluviógrafo do DNIT registrou os maiores valores de intensidade.

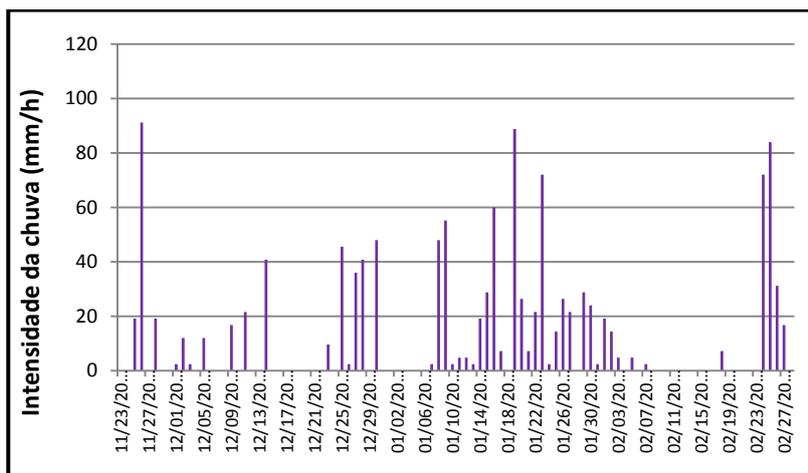


Figura 5-9. Intensidade da precipitação no pluviógrafo da 303N a cada 5 min.

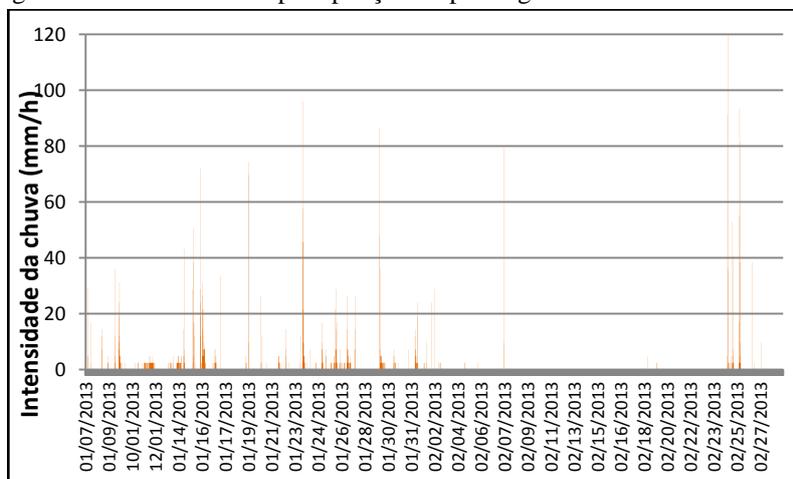


Figura 5-10. Intensidade da precipitação no pluviógrafo da DNIT a cada 5 min.

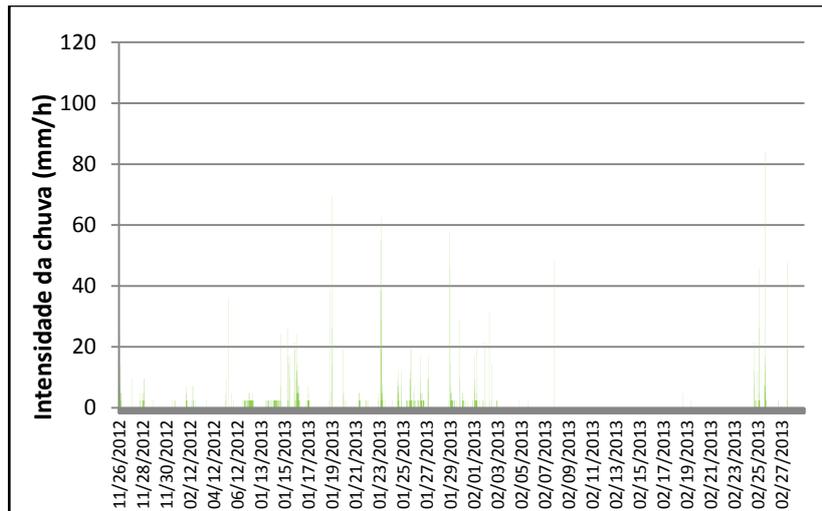


Figura 5-11. Intensidade da precipitação no pluviômetro do Iate a cada 5 min.

É importante a análise da intensidade e duração das chuvas porque esses fenômenos promovem impactos no tipo e quantidade de poluentes presentes, como também no escoamento superficial. Ferreira (2008) constatou que os estoques de poluentes acumulados nas superfícies pavimentadas eram rapidamente lavados durante a primeira parte da precipitação, e conforme a chuva continuava os poluentes disponíveis para lavagem eram esgotados e as concentrações diminuía.

### 5.1.1. Análise da intensidade – duração – frequência dos eventos ocorridos nas sub-bacias em estudo

Outra análise importante é sobre o tempo de retorno da precipitação, ou seja, quanto significativo foi um evento por meio do cálculo de quantos anos são necessários para que haja uma repetição do mesmo evento com características semelhantes ou superiores. Sendo assim, realizaram-se os estudos quanto às precipitações extremas.

Essa análise pode ser feita por meio da curva idf (intensidade – duração – frequência). A curva idf da cidade de Brasília adotada pela NOVACAP (2005) e está representada pela Equação 5-1, e na Figura 5-12.

$$i = \frac{1302,26 \cdot Tr^{0,16}}{(D + 11)^{0,815}} \quad \text{Equação 5-1}$$

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

$Tr$  - período de retorno (anos)

D - duração da precipitação (minutos)

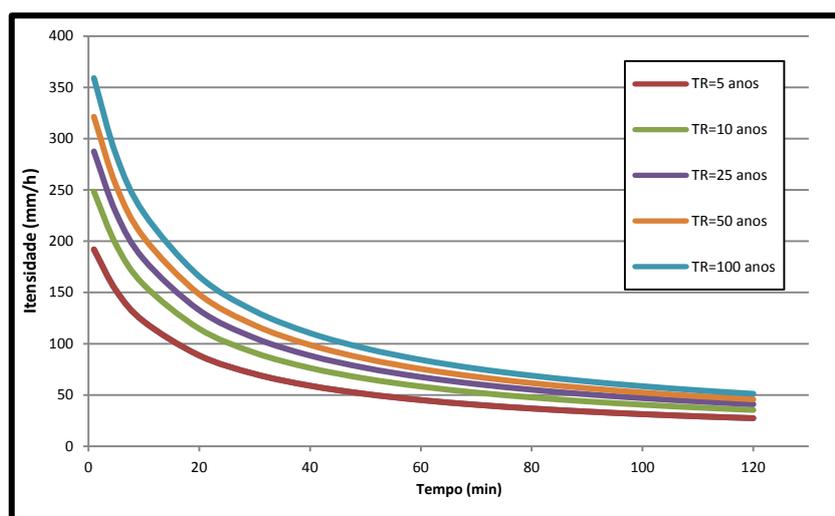


Figura 5-12. Curva idf para Brasília

Com base na equação foi possível calcular para cada evento o Tempo de Retorno correspondente, expresso na Tabela 5-1.

Tabela 5-1. Tempos de Retorno para cada evento de chuva.

C.O.				IATE			
Data do evento	Dur. (min)	Int. (mm/h)	Tr (anos)	Data do evento	Dur. (min)	Int. (mm/h)	Tr (anos)
21/09/2012	275	6,45	<1	25/09/2012	465	0,3	<1
17/10/2012	270	18	7,1	27/09/2012	72	8,6	<1
01/11/2012	450	7	<1	09/10/2012	40	3,4	<1
03/11/2012	300	7,68	<1	10/10/2012	75	16	<1
05/11/2012	475	9,6	2,2	15/10/2012	75	16	<1
11/11/2012	275	14	1,6	17/10/2012	285	18	9,2
14/11/2012	125	5,51	<1	01/11/2012	430	7,5	<1
17/11/2012	240	5,3	<1	03/11/2012	375	7,17	<1
19/11/2012	166,64	38	73,3	06/11/2012	340	4	<1
22/11/2012	20	18	<1	08/11/2012	80	9,6	<1
23/11/2012	60	13	<1	11/11/2012	345	8	<1
26/11/2012	300	5	<1	14/11/2012	140	2	<1
05/12/2012	32	9	<1	19/11/2012	150	32	15,1
14/12/2012	520	3	<1	23/11/2012	45	20	<1
27/12/2012	45	30	<1	26/11/2012	300	7	<1
28/12/2012	270	3	<1	05/12/2012	6,5	30	<1
30/12/2012	190	2,4	<1	14/12/2012	538	7	<1
08/01/2013	70	20	<1	27/12/2012	44	10	<1
09/01/2013	40	8,64	<1	28/12/2012	150	5	<1
16/01/2013	550	5	<1	30/12/2012	210	2,5	<1
19/01/2013	35	26	<1	08/01/2013	75	20	<1
23/01/2013	180	14	<1	09/01/2013	260	8	<1

<b>26/01/2013</b>	490	3,8	<1	15/01/2013	180	5,22	<1
<b>27/01/2013</b>	350	3,6	<1	16/01/2013	490	6,5	<1
<b>27/01/2013</b>	100	8,1	<1	19/01/2013	35	25	<1
<b>29/01/2013</b>	410	4	<1	23/01/2013	250	12	<1
<b>30/01/2013</b>	160	5,5	<1	25/01/2013	181	4	<1
<b>01/02/2013</b>	265	5,62	<1	26/01/2013	310	4	<1
<b>24/02/2013</b>	160	7,2	<1	27/01/2013	250	4	<1
<b>25/02/2013</b>	170	13	<1	29/01/2013	172	6	<1
<b>25/02/2013</b>	210	5	<1	30/01/2013	90	4,6	<1
				01/02/2013	200	5	<1
				24/02/2013	100	15,4	<1
				25/02/2013	200	5,6	<1

O evento de maior tempo de retorno ocorreu no dia 19/11/12, com  $Tr = 73$  anos na sub-bacia do C.O. Esse mesmo evento, ao atingir a sub-bacia do Iate, estava mais fraco, mesmo assim com  $Tr$  de 15 anos, que é bastante significativo, visto que o dimensionamento das estruturas de drenagem consideram eventos com tempo de retorno de 5 ou 10 anos. Ou seja, o sistema de drenagem nesse evento entrou em colapso, causando inundação e danos consideráveis (Figura 5-13).



Figura 5-13. Inundação provocada pela chuva do dia 19/11/2012.

No evento extremo do dia 19/11/12 é clara a variabilidade espacial da chuva. Notou-se que a intensidade foi decrescendo no sentido Norte-Sul (C.O.  $\Rightarrow$  Iate) sendo perceptível pela grande densidade na distribuição dos aparelhos pluviógrafos que é de 1 aparelho a cada  $Km^2$ .

Como exemplo dessa variabilidade espacial da altura precipitada dentro das sub-bacias, foram elaboradas as Figura 5-14 e Figura 5-15 para o evento do dia 09/01/2013. Foi escolhido esse evento porque somente após essa data todos os pluviógrafos haviam sido instalados, e nele é possível visualizar com clareza a dispersão da precipitação.

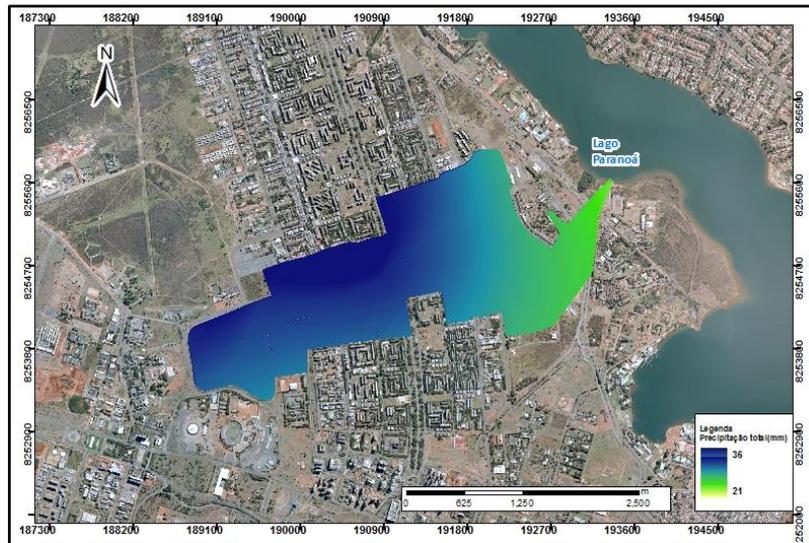


Figura 5-14. Exemplo da variabilidade espacial do volume acumulado precipitação na sub-bacia do C.O.

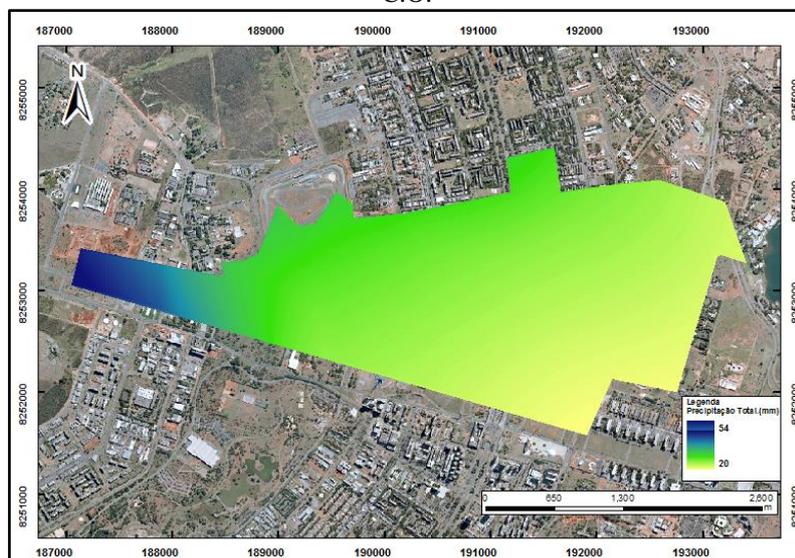


Figura 5-15. Exemplo da variabilidade espacial do volume acumulado precipitação na sub-bacia do Iate.

Percebe-se, pelas figuras que houve uma maior precipitação na cabeceira das sub-bacias, decrescendo no sentido a jusante, e que a na sub-bacia do Iate, o volume precipitado foi maior.

## 5.2. DETERMINAÇÃO DA VAZÃO

A vazão foi obtida por meio da determinação das curvas-chave das seções da galeria comitantemente com a instalação dos linígrafos para o monitoramento das cotas linimétricas.

Na sub-bacia do C.O. já existia a curva-chave calculada com a ajuda do ADCP, e representada na Equação 5-2 . Nesse local, existe uma diferença de 7 cm entre a cota medida no linígrafos e a lâmina d'água na galeria, por isso foi adicionado esse valor em todos os dados da medição do nível a fim de efetuar tal correção.

$$Q = 17,909x^{2,33} \quad \text{Equação 5-2}$$

Na Figura 5-16 é mostrado o hidrograma observado nessa galeria no período de outubro de 2012 a fevereiro de 2013.

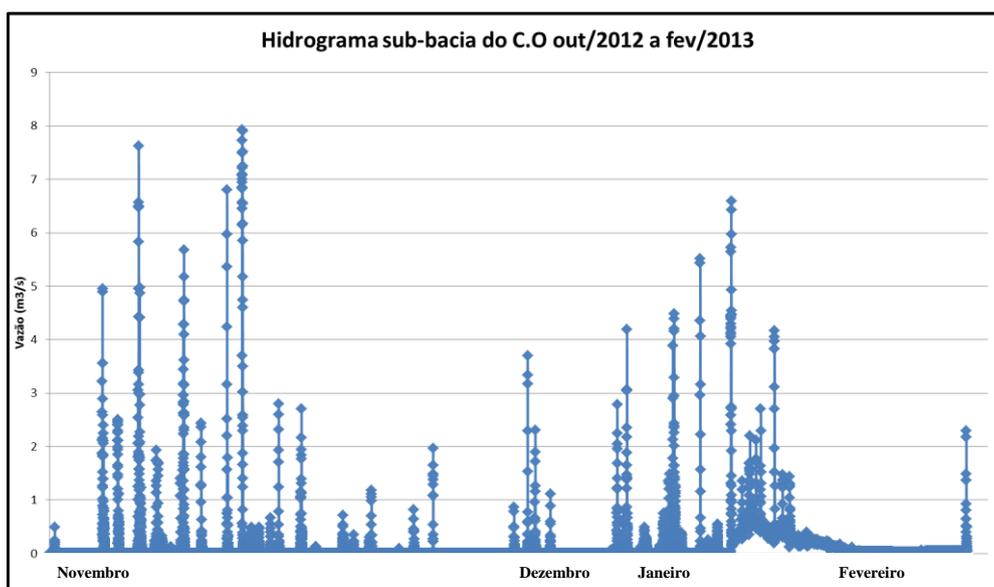


Figura 5-16. Hidrograma na sub-bacia do C.O.

No hidrograma percebe-se que a vazão máxima atingida foi de  $7,93\text{m}^3/\text{s}$ , no evento do dia 19 de novembro de 2012, com intensidade média de  $36\text{mm}/\text{h}$ , cujos pluviógrafos acumularam cerca de  $109,6\text{mm}$  em pouco mais de 3 horas de chuva.

Ainda na Figura 5-16, percebe-se que nos últimos dados o hidrograma não atinge valor mínimo, fato que pode ser explicado devido à entrada da água do Lago Paranoá na galeria de drenagem entre os dias 25/01/13 até 08/02/13, observado mais detalhadamente na Figura 5-17. Para verificar a vazão correta seria necessário eliminar os valores ou colocar a vazão em função da geometria da galeria. No entanto, os valores altos deveriam estar corretos, pois a ocorrência de escoamento supercrítico eliminaria o efeito provocado pelo ressalto na saída da galeria.

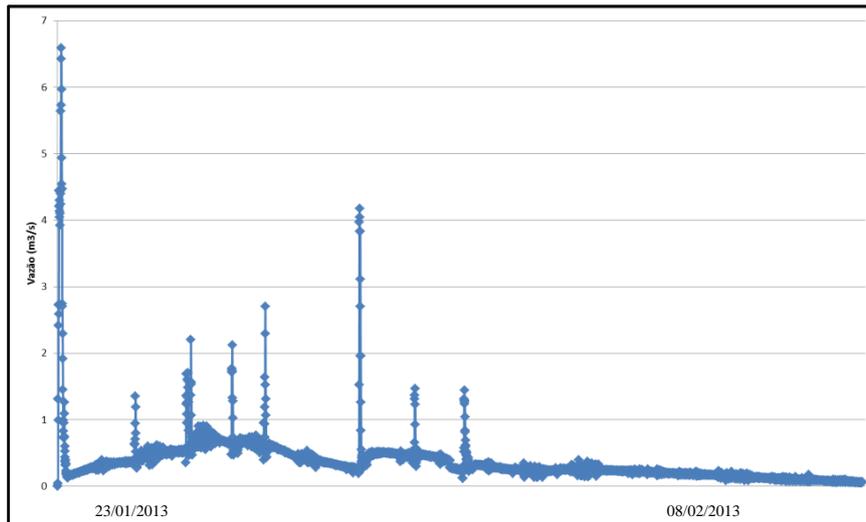


Figura 5-17. Hidrograma quando a água do Lago Paranoá entrou na galeria de drenagem do C.O.

Para exemplificar um hidrograma durante um evento qualquer, com apresentação da onda de cheia foi escolhido o evento do dia 23 de janeiro. O evento foi de intensidade de 14mm/h, acumulando 65,7mm em 4,66h, o que gerou uma vazão de pico de  $6,58\text{m}^3/\text{s}$ . A precipitação teve início às 17:55 e o pico foi detectado às 19:50, enquanto que a subida do hidrograma foi identificada às 18:25.

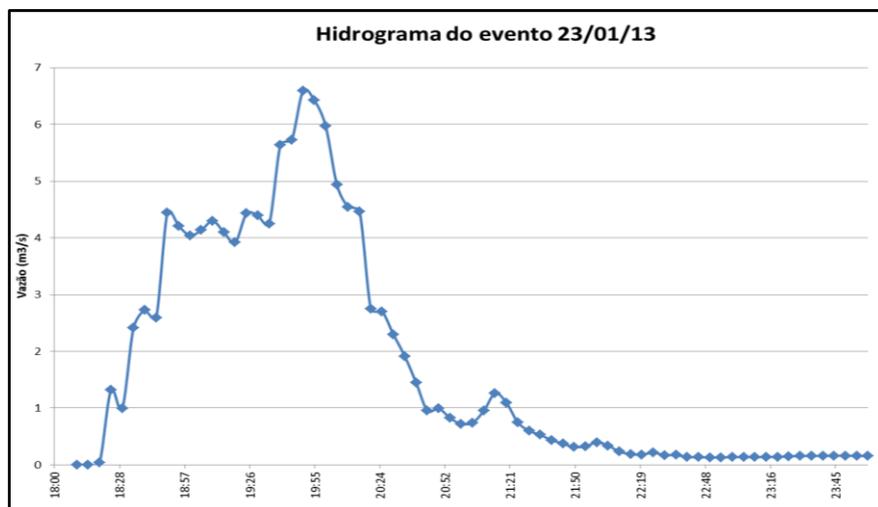


Figura 5-18. Hidrograma do evento do dia 23/01/13 na sub-bacia do C.O.

Na Figura 5-19 foi possível registrar a chegada da onda de cheia durante um evento na galeria do C.O, e na Figura 5-20 observa-se o remanso causado no encontro das águas da drenagem com as águas do Lago Paranoá.



Figura 5-19. Sequência de chegada da onda de cheia na sub-bacia do C.O. Fonte: Silva Junior, 2010.



Figura 5-20. Encontro das águas pluviais com o Lago Paranoá.

Na sub-bacia do Iate houve diversas tentativas em obter a curva-chave da galeria, utilizando o equipamento ADC. Mas, por limitações do equipamento, que mede velocidade máxima de até  $2\text{m}^2/\text{s}$ , não foi possível a determinação da curva. Além disso, o ADCP utilizado na outra galeria apresentou problemas e não pode ser utilizado.

Como alternativa, escolheu-se a equação do escoamento crítico, conforme informado no capítulo de metodologia. Para poder verificar se os valores obtidos são coerentes, foram escolhidos eventos similares que ocorreram na sub-bacia do C.O e na sub-bacia do Iate. Como elas são vizinhas e possuem quase o mesmo comprimento, foi utilizada a equação do método racional (Equação 5-2), calculando o “C” para a sub-bacia do C.O. Esse coeficiente de escoamento foi utilizado na sub-bacia do Iate para calcular as diferença entre as vazões.

$$Q = C \cdot I \cdot A / 360 \quad \text{Equação 5-3}$$

Q – Vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
 C – Coeficiente de escoamento superficial  
 I – intensidade média da chuva ( $\text{mm}/\text{h}$ )  
 A – área da bacia (há)

Na Tabela 5-2 estão apresentados os eventos que foram utilizados para comparação. Eles foram escolhidos por serem intensos, acima de  $15\text{mm}/\text{h}$ , e que entre as bacias

apresentassem intensidades semelhantes, para que a variabilidade espacial da precipitação fosse mínima entre elas.

Tabela 5-2. Dados utilizados para verificar a utilização da equação do escoamento crítico para o cálculo da vazão na sub-bacia do Iate.

<b>Evento 15/01/12</b>			<b>Evento 16/01/13</b>		<b>Evento do dia 19/01</b>	
	C.O	Iate	C.O	Iate	C.O	Iate
<b>C</b>	0,0531	0,0531	0,1028	0,1028	0,1227	0,1227
<b>I (mm/h)</b>	18	15,12	24,2	26,2	28,33	28,11
<b>A (km<sup>2</sup>)</b>	5,43	8,92	5,43	8,92	5,43	8,92
<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	1,49	2,07	3,88	6,96	5,42	8,913

O resultado entre a comparação dos dois métodos pode ser verificado na Tabela 5-3, com a respectiva diferença percentual, em que os valores obtidos foram menores que 19%, o que pode ser considerado satisfatório.

Tabela 5-3. Comparação entre os dados de vazão calculada pelo método racional.

<b>MÉTODO RACIONAL</b>	<b>MÉTODO DO ESCOAMENTO CRÍTICO</b>	<b>ERRO PERCENTUAL</b>
<b>2,074</b>	2,558	18,8
<b>6,962</b>	6,723	16,0
<b>8,914</b>	9,822	9,2

Assim, os resultados obtidos de vazão que são gerados pela sub-bacia do Iate de setembro de 2012 a fevereiro de 2013 são mostrados na Figura 5-21. Nessa galeria também foi realizada uma calibração entre a cota medida no linígrafo e a real, e foi encontrada uma diferença de 16cm.

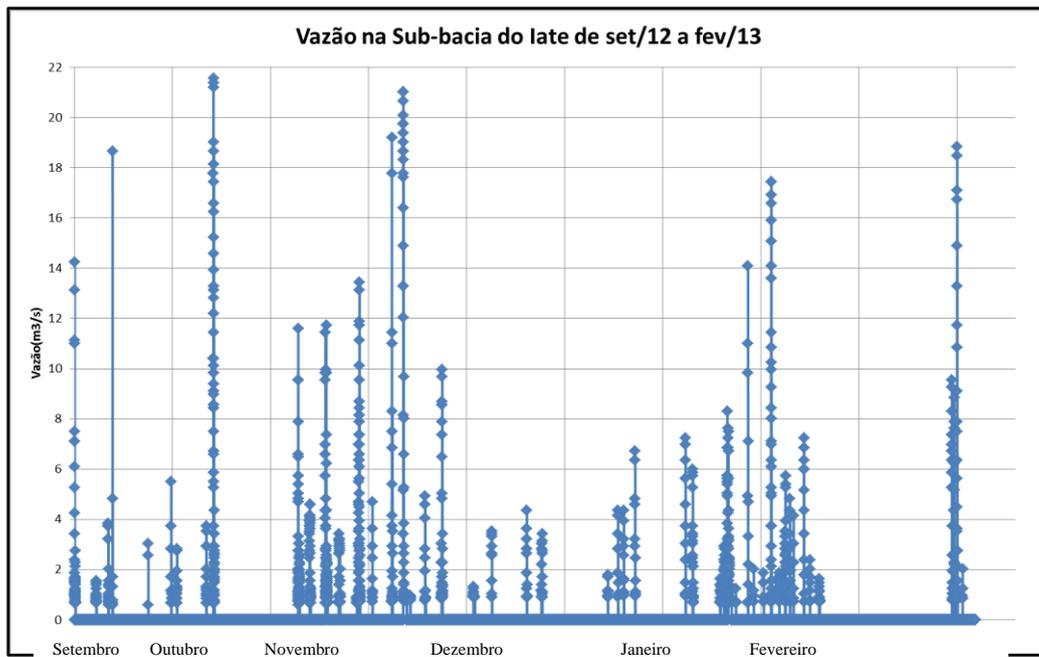


Figura 5-21. Hidrograma na sub-bacia do Iate.

Percebe-se que essa galeria, por abrigar uma área maior, atingiu a vazão máxima de  $21,5\text{m}^3/\text{s}$  no evento do dia 17 de outubro, que corresponde a uma cota de 1,74m para uma precipitação com intensidade média de 16mm/h e máxima de 108,8mm/h em 15 minutos de duração. Nessa galeria não ocorre a entrada do Lago Paranoá na galeria pois o linígrafo encontra-se a mais de 200m da saída e há dois degraus na galeria desde o ponto de medição até o lago.

Foi destacado na Figura 5-22 o hidrograma do primeiro evento do ano hidrológico 2012/2013, que aconteceu na noite de 21/09/2012. Percebe-se que foi um evento importante, pois atingiu uma vazão de  $14,25\text{ m}^3/\text{s}$  com altura de precipitação de 26,6mm e intensidade máxima de 18,6mm/h , depois de 96 dias de estiagem.



Figura 5-22. Hidrograma na sub-bacia do Iate do evento 21/09/2012.

Na Figura 5-23 e Figura 5-24 é mostrada a tentativa de medir vazão na sub-bacia do Iate e o momento em que a onda de cheia era descarregada no Lago Paranoá.

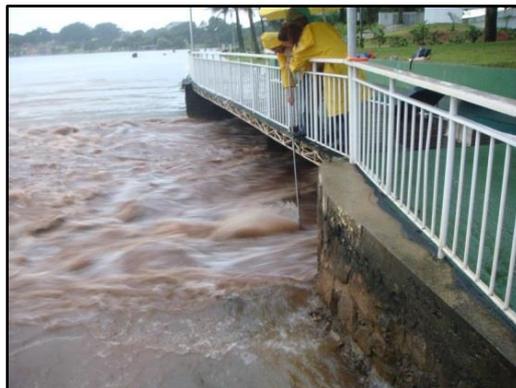


Figura 5-23. Tentativa de medição de vazão para a determinação da curva-chave.



Figura 5-24. Onda de Cheia na galeria do Iate.

### 5.3. ANÁLISE CHUVA-VAZÃO

Na sub-bacia do C.O. foram contabilizados 43 eventos de precipitação, entre os meses de outubro de 2012 (a partir do dia 25) e fevereiro de 2013. Nos meses de setembro e outubro não houve medições devido a problemas no linígrafo.

Os eventos foram classificados de acordo com a vazão, em três categorias (grande, médio e pequeno), conforme exposto na Tabela 5-4.

Tabela 5-4 – Eventos na sub-bacia do C.O.

	<b>Classificação</b>	<b>Nº de eventos</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>	<b>%</b>
<b>Grande</b>	> 2,78 m <sup>3</sup> /s	13	7,93	3,69	30,23
<b>Médio</b>	> 1,1 e < 2,78	18	2,78	1,1	41,86
<b>Pequeno</b>	<1,1 m <sup>3</sup> /s	12	0,86	0,13	27,91
<b>Total</b>		43			100,00

Na sub-bacia do Iate foi possível a observação dos eventos desde o início da época chuvosa, portanto os dados coletados foram de setembro de 2012 a fevereiro de 2013. As categorias de classificação foram as mesmas utilizadas na outra área de estudo, porém com limites de vazão diferentes a cada classe. E os dados foram agrupados na Tabela 5-5.

Tabela 5-5. Eventos na sub-bacia do Iate.

	<b>Classificação</b>	<b>Nº de eventos</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>	<b>%</b>
<b>Grande</b>	> 7 m <sup>3</sup> /s	17	21,5	7,23	31,48
<b>Médio</b>	> 3 e < 7	20	3	5,98	46,51
<b>Pequeno</b>	<3 m <sup>3</sup> /s	17	274	0,42	39,53
<b>Total</b>		54			100,00

Percebe-se que foram computados 54 eventos, cujas vazões são muito maiores comparadas as da outra sub-bacia, atingindo valores de até 21,5 m<sup>3</sup>/s. Essa diferença entre as vazões está relacionada com a área de cobertura do sistema de drenagem, que para a sub-bacia do Iate abrange uma área 70% maior.

Dentre esses 54 eventos, dois deles ocorreram em dias que não foi registrado nenhum evento chuvoso, sendo atribuído ao fato de uma provável descarga causada por problemas operacionais na ETA-Norte/Brasília, operada pela Caesb, concessionária de saneamento do Distrito Federal.

Nas Tabela 5-6 e na Tabela 5-7 estão mostrados todos os registros de vazões nas duas galerias de drenagem, com seus respectivos valores de vazões máximas com a classificação correspondente.

Tabela 5-6. Vazões máximas encontrada em cada evento na sub-bacia do C.O.

<b>Características</b>	<b>01/11/2012</b>	<b>03/11/2012</b>	<b>05/11/2012</b>	<b>08/11/2012</b>	<b>11/11/2012</b>	<b>11/11/2012</b>	<b>14/11/2012</b>	<b>17/11/2012</b>	<b>19/11/2012</b>	<b>20/11/2012</b>	<b>22/11/2012</b>
<b>Qmax (m3/s)</b>	4,95	2,5	7,62	1,92	1,4	5,68	2,43	6,8	7,93	0,5	0,66
<b>Classificação</b>	Grande	Médio	Grande	Médio	Médio	Grande	Médio	Grande	Grande	Pequeno	Pequeno
	23/11/2012	26/11/2012	28/11/2012	02/12/2012	03/12/2012	05/12/2012	11/12/2012	14/12/2012	25/12/2012	27/12/2012	28/12/2012
<b>Qmax (m3/s)</b>	2,6	2,7	0,13	0,7153	0,35	1,2	0,81	1,96	0,86	3,69	2,3
<b>Classificação</b>	Médio	Médio	Pequeno	Pequeno	Pequeno	Médio	Pequeno	Médio	Pequeno	Grande	Médio
	30/12/2012	08/01/2013	09/01/2013	12/01/2013	14/01/2013	15/01/2013	16/01/2013	17/01/2013	19/01/2013	20/01/2013	21/01/2013
<b>Qmax (m3/s)</b>	1,1	2,78	4,18	0,49	0,75	1,36	4,39	0,4	5,5	0,25	0,54
<b>Classificação</b>	Médio	Médio	Grande	Pequeno	Pequeno	Médio	Grande	Pequeno	Grande	Pequeno	Pequeno
	23/01/2013	25/01/2013	26/01/2013	27/01/2013	29/01/2013	30/01/2013	01/02/2013	24/02/2013	25/02/2013	25/02/2013	
<b>Qmax (m3/s)</b>	6,58	1,35	2,2	2,7	4,4	1,47	1,44	2,29	4,42	6,99	
<b>Classificação</b>	Grande	Médio	Médio	Médio	Grande	Médio	Médio	Médio	Grande	Grande	

Tabela 5-7. Vazões máximas encontrada em cada evento na sub-bacia do Iate.

<b>Características</b>	<b>21/09/2012</b>	<b>25/09/2012</b>	<b>27/09/2012</b>	<b>28/09/2012</b>	<b>05/10/2012</b>	<b>09/10/2012</b>	<b>10/10/2012</b>	<b>15/10/2012</b>	<b>17/10/2012</b>	<b>01/11/2012</b>	<b>03/11/2012</b>
<b>Qmax (m3/s)</b>	14,25	1,54	3,83	18,66	3,02	5,5	2,74	3,72	21,5	11,58	4,58
<b>Classificação</b>	Grande	Pequeno	Médio	Grande	Médio	Médio	Pequeno	Médio	Grande	Grande	Médio
	06/11/2012	08/11/2012	11/11/2012	11/11/2012	14/11/2012	17/11/2012	17/11/2012	19/11/2012	20/11/2012	23/11/2012	26/11/2012
<b>Qmax (m3/s)</b>	11,73	3,22	0,9	13,44	4,69	19,19	8,29	21,01	0,96	4,92	9,96
<b>Classificação</b>	Grande	Médio	Pequeno	Grande	Médio	Grande	Grande	Grande	Pequeno	Médio	Grande
	02/12/2012	05/12/2012	11/12/2012	14/12/2012	14/12/2012	25/12/2012	27/12/2012	28/12/2012	30/12/2012	08/01/2013	09/01/2013
<b>Qmax (m3/s)</b>	1,318	3,52	4,36	3,02	3,422	1,78	4,36	4,36	3	7,23	5,98
<b>Classificação</b>	Pequeno	Médio	Médio	Médio	Médio	Pequeno	Médio	Médio	Médio	Grande	Médio
	14/01/2013	14/01/2013	15/01/2013	15/01/2013	16/01/2013	16/01/2013	17/01/2013	19/01/2013	20/01/2013	22/01/2013	23/01/2013
<b>Qmax (m3/s)</b>	1,62	1,31	0,45	0,42	8,29	7,62	1,245	14,08	2,03	1,86	17,435
<b>Classificação</b>	Pequeno	Pequeno	Pequeno	Pequeno	Grande	Grande	Pequeno	Grande	Pequeno	Pequeno	Grande
	25/01/2013	26/01/2013	27/01/2013	27/01/2013	29/01/2013	30/01/2013	01/02/2013	24/02/2013	25/02/2013	25/02/2013	26/02/2013
<b>Qmax (m3/s)</b>	1,86	5,74	4,81	4,15	7,23	2,311	1,62	9,53	8,83	18,83	2,02
<b>Classificação</b>	Pequeno	Médio	Médio	Médio	Grande	Pequeno	Pequeno	Grande	Grande	Grande	Pequeno

## 5.4. ANÁLISE DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA DRENAGEM URBANA

### 5.4.1. Qualidade da água no período de estiagem

Do ponto de vista de qualidade da água, os períodos de estiagem são considerados críticos em função do volume de água disponível para diluir os poluentes e, conseqüentemente, diminuir sua concentração.

Sabe-se que em Brasília, como usual em todo o país, é utilizado o sistema de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto, ou seja, existe um sistema de captação de esgoto distinto da rede das águas de drenagem pluvial.

Por isso, dentro das galerias, na época seca, existe somente uma pequena lâmina d'água proveniente de possíveis ligações clandestinas de esgoto entre as redes ou de águas de drenagem do solo subterrâneas advindas lençol freático. A quantidade dessas águas é muito pequena, não sendo detectada nos linígrafos e de difícil realização de coleta para a análise da água.

Em 2004, Gomes (2004) fez uma coleta nessas condições para a sub-bacia do C.O. e os dados encontram-se na Tabela 5-8. Comparados com os dados referentes aos esgotos domésticos no DF (Tabela 5-9) é possível afirmar que havia uma descarga de esgoto doméstico nessa sub-bacia, provavelmente diluído por outras águas, visto que os valores encontrados para DQO e DBO, são inferiores ao de esgoto bruto.

Tabela 5-8. Análise de uma amostra de água no período de estiagem. Fonte: Gomes, 2004.

Nível da água (cm)	T (°C)	pH	Cond (µS)	DQO (mg/L)
3,0	23,0	6,92	208,0	52,6
DBO (mg/L)	SS (mg/L)	NO3	Colif. Totais	Colif. temotolerantes
21,4	7,8	0,3	>2,4x10 <sup>4</sup>	2,38E+04

Tabela 5-9. Características do esgoto doméstico para o DF. Fonte: CAESB, 2011.

VARIÁVEIS (MG/L)	CONCENTRAÇÕES MÉDIAS
Sólidos Totais	600
DBO	480
DQO	860
Nitrogênio Total	80
Nitrogênio Orgânico	24
Nitrogênio Amoniacal	56
Nitrito	0

<b>Nitrato</b>	0
<b>Fósforo Total</b>	10
<b>Cloreto*</b>	73
<b>Óleos e Graxas**</b>	150

Na sub-bacia do Iate existe uma pequena lâmina de água no qual foi coletada uma amostra para análise. Nesse mesmo dia houve aumento nessa lâmina de água, caracterizando um lançamento. Portanto, foram realizadas análises da qualidade da água antes e após esse lançamento na galeria de drenagem pluvial. A amostragem ocorreu dia 18 de setembro de 2012, quando não havia ainda iniciado o período chuvoso no DF. Pelos dados contidos na Tabela 5-10, percebe-se que, com exceção do  $\text{NH}_3^+$  e do fósforo, os demais apresentaram uma elevação dos seus valores.

Tabela 5-10. Parâmetros analisados antes e depois de um lançamento na galeria de drenagem do Iate.

<b>VARIÁVEIS</b>	<b>ANTES DO LANÇAMENTO</b>	<b>APÓS O LANÇAMENTO</b>
<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	17,45	45,85
<b>Sólidos Dissolvidos (mg/L)</b>	15,45	21,35
<b>Sólidos Suspensos (mg/L)</b>	2,00	24,50
<b>DQO (mg/L)</b>	70	349
<b>Nitrogênio Amoniacal</b>	2,9	2,9
<b>Nitrito</b>	0,138	0,171
<b>Nitrato</b>	1,462	1,629
<b>Fósforo Total</b>	3,6	0,94
<b>Fósforo reativo</b>	3,09	0,21
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,048	0,318
<b>Al</b>	0,025	0,167
<b>Fe</b>	0,27	0,61

As amostras antes e depois do lançamento apresentaram características distintas sendo o alumínio um indicativo de que a água provavelmente era oriunda da lavagem dos filtros da ETA Norte/Brasília, pois lá é utilizado um coagulante a base de alumínio para o tratamento de água, para que as impurezas em suspensão sofram coagulação, sendo possível assim, que ocorra sua retenção pelos filtros. Quando ocorre a lavagem desses filtros, há resíduos de Al, que estariam sendo direcionados às galerias de drenagem pluvial.

Na Tabela 5-7 já foi mostrado pela vazão medida que lançamentos ocorriam na rede. A concessionária utiliza usualmente o processo de recirculação dessas águas, a fim de que não seja necessário o despejo dessas águas.

#### 5.4.2. Qualidade da água em eventos de chuva

As análises da qualidade da água de drenagem urbana foram realizadas nas duas sub-bacias em estudo, C.O. e Iate, por meio de coletas de amostras durante as ondas de cheia de cada evento, com discretização temporal de 5 min. Foram recolhidas e analisadas 438 amostras no total, dos quais, 242 referentes a sub-bacia do Iate e 228 à bacia do C.O, mas por problemas diversos 32 amostras foram perdidas devido a falhas no amostrador automático ou à manipulação das amostras no laboratório. Essas amostras correspondem a 34 eventos, 17 em cada sub-bacia (Tabela 5-11).

Tabela 5-11. Resumo geral do monitoramento de Qualidade da água.

	Iate	C.O.	Total
<b>Nº de amostras</b>	242	228	470
<b>Perdidas</b>	20	12	32
<b>Eventos</b>	17	17	34

Foram realizadas análises de onze parâmetros físicos e químicos, dentre eles, condutividade, turbidez, sólidos (totais, dissolvidos e suspensos), nitrato, nitrito, amônia, fósforo total e reativo e DQO, que serão discutidos a seguir.

##### 5.4.2.1. Turbidez

Os valores de turbidez na sub-bacia do C.O. variaram de 30,2 a 483 NTU durante o período monitorado. Os maiores valores foram atingidos nos primeiros 10 minutos de coleta, e o evento o qual os maiores valores foram observados foi o do dia 14/01/2013, que apresentou uma vazão máxima de  $0,7\text{m}^3/\text{s}$ .

Os menores valores de turbidez ocorreram no dia 12/01/2013, um evento que aconteceu após sucessivos eventos de precipitação nos quatro dias anteriores. Portanto, provavelmente não ocorreu o acúmulo dos sedimentos na sub-bacia, e por isso a turbidez baixa.

Nas Figura 5-25 e Figura 5-26 são mostrados os valores de turbidez para a sub-bacia do C.O. Percebe-se que a variação da turbidez com a vazão nem sempre apresenta mesma tendência.

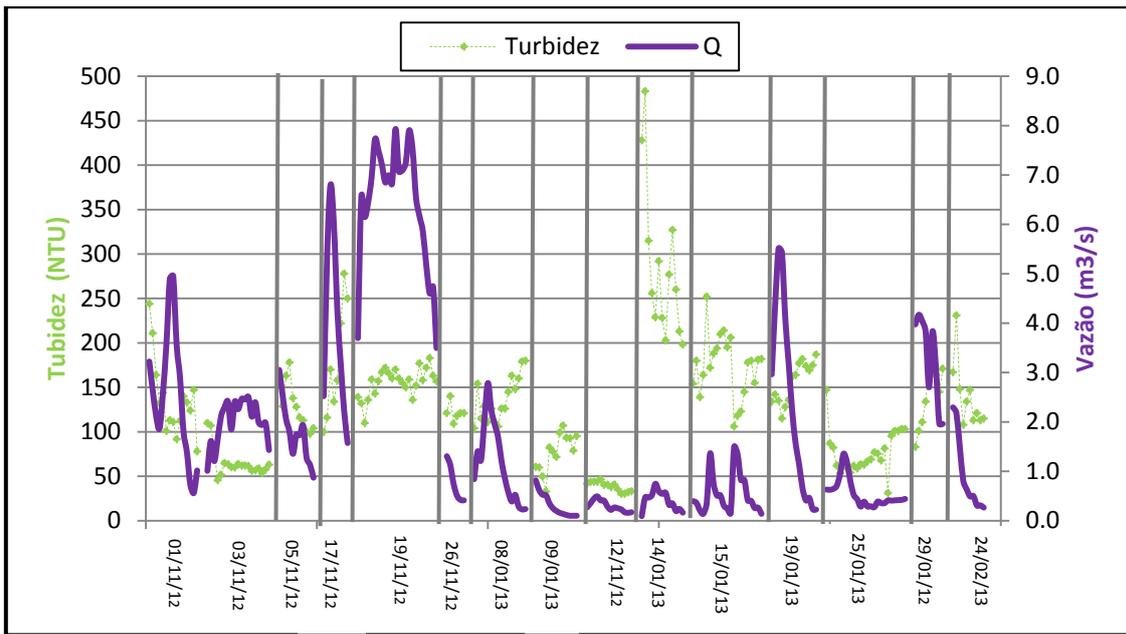


Figura 5-25. Análise da Turbidez ao longo na sub-bacia do C.O.

A chuva antecedente é uma variável importante para a turbidez que pode ser analisada na Figura 5-26. Os eventos ocorridos em até dois/três dias posteriormente a outro, apresentaram valores de turbidez menores, como o caso dos eventos do dia 03/11/12, 19/11/12, 09/11/13, 12/11/13 e 15/01/13, ou seja, nos eventos que ocorreram após outro evento em até três dias apresentaram valores da turbidez mais reduzidos.

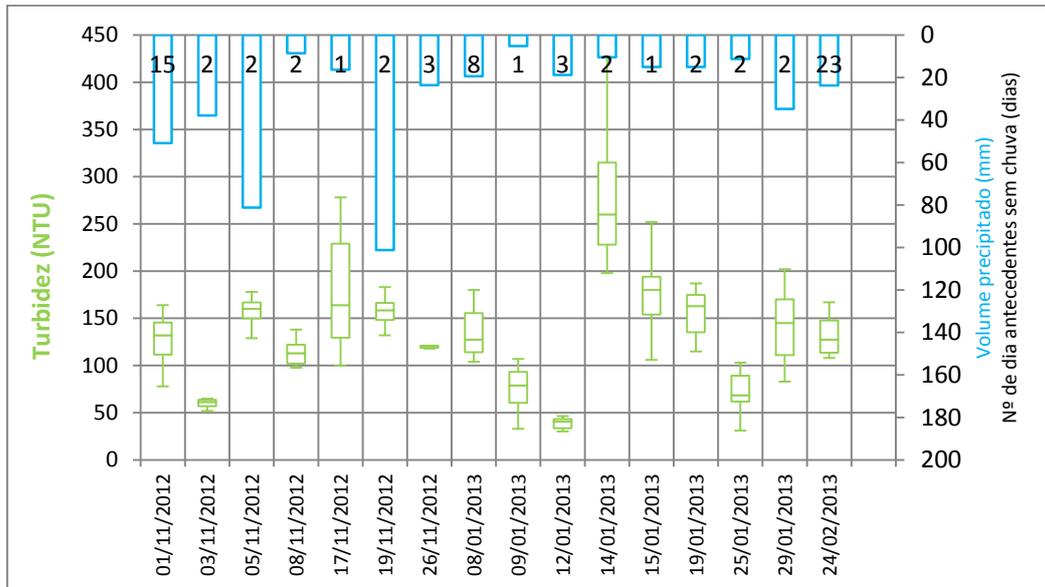


Figura 5-26. Análise da Turbidez por evento na sub-bacia do C.O.

Na Tabela 5-12 pode-se observar um resumo estatístico dos dados de turbidez na sub-bacia do C.O. Percebe-se a grande variabilidade desse parâmetro por meio do desvio

padrão e do intervalo encontrado nas amostras. O valor médio da turbidez é elevado quando comparado com os obtidos por Pimentel (2009), que obteve o valor máximo de 120 NTU, para um riacho recebe esgoto *in natura* em diferentes pontos, considerado quase em um sistema combinado para o esgotamento sanitário. De acordo com Von Sperling (2005) águas com turbidez próximas a 500NTU são opacas, valor próximo ao encontrado no evento do dia 14/01/13.

Tabela 5-12. Parâmetros estatísticos para os valores de turbidez.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	TURBIDEZ
Média	130,6
Mediana	126
Moda	164
Desvio padrão	66,4
Intervalo	452,8
Mínimo	30,2
Máximo	483
Nº de amostras analisadas	217

O evento do dia 14/01/13 pode ser melhor observado na Figura 5-27, onde é feita a comparação entre o polutogramas e o hidrograma do evento. Os valores de turbidez desse evento foram altos, variando entre 200 e 486 NTU em uma onda de cheia de pico baixo. O pico da turbidez antecede ao pico da vazão, fato que pode ser explicado pela remoção inicial do material acumulado no período entre as chuvas, quer sobre o solo, ou no interior das canalizações.

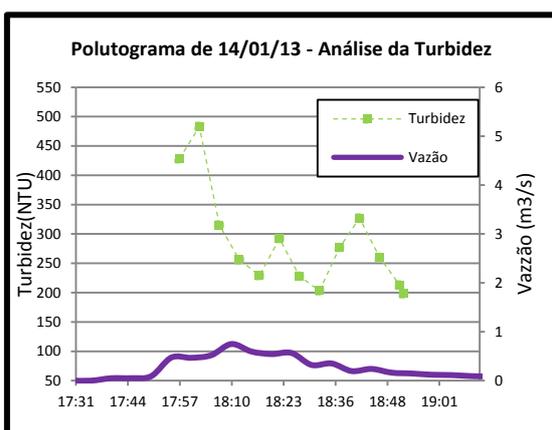


Figura 5-27. Polutograma da turbidez e hidrograma no evento do dia 14/01/2013 na sub-bacia do C.O.

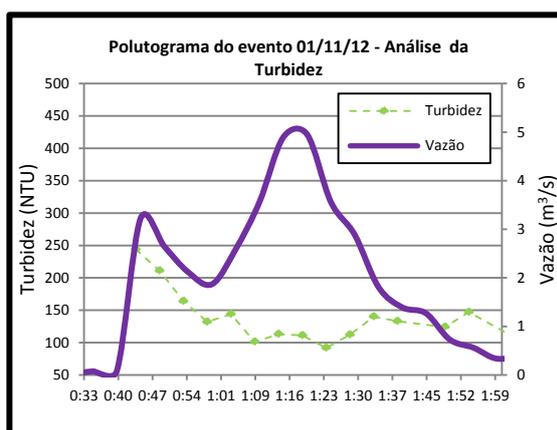


Figura 5-28. Polutograma da turbidez e hidrograma no evento do dia 01/11/2012 na sub-bacia do C.O.

Na Figura 5-28 há outro evento, o do dia 01/11/2012, no início do período chuvoso. Mesmo com uma vazão de pico elevada,  $4,95\text{m}^3/\text{s}$ , ou seja, um grande volume de

escoamento, a turbidez das águas foi grande devido a quantidade de sedimentos acumulados durante a época seca, que ainda estava sendo lavado nas primeiras chuvas.

Também é perceptível no gráfico que durante a passagem da vazão de pico, há os menores valores observados da turbidez, devido ao grande volume de água que está sendo transportado na galeria de drenagem, que proporciona uma diluição das águas.

Na sub-bacia do Iate foram medidas a turbidez em 217 amostras ao longo do período de monitoramento. Percebe-se que os valores são maiores que a sub-bacia do C.O., com uma média superada em mais de 242%, e uma mediana superior em 217%. O valor máximo encontrado corresponde a 1196 NTU no evento do dia 15/01/2013. Este fato pode ser atribuído à distribuição espacial dessa chuva, que foi mais intensa na região próxima aos pluviógrafos da 303N e do DNIT, onde se localizam algumas regiões com solos expostos e onde estão ocorrendo diversas obras civis.

Esse evento foi de intensidade média, 5,22 mm/h, com duração de aproximadamente 180 minutos e gerou uma vazão de pico de 2,93 m<sup>3</sup>/s, com um volume de escoamento de 7435,4 m<sup>3</sup>. Na Figura 5-29 encontra-se o polutograma da turbidez ao longo do evento do dia 15/01/13.

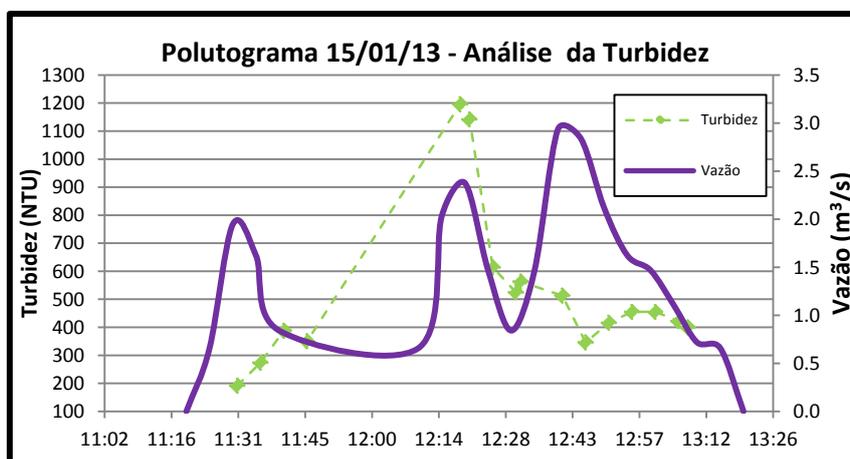


Figura 5-29. Polutograma da turbidez e hidrograma no evento do dia 15/01/13 na sub-bacia do Iate.

Outro valor de turbidez ocorreu no dia 01/11/2012, que corresponde aos primeiros eventos da época chuvosa, quando provavelmente existia na superfície do solo sedimentos acumulados durante a época de seca e que foram carregados pelas águas. Todos os valores são mostrados na Figura 5-30, onde é possível observar a variação desse parâmetro ao longo do tempo juntamente com a vazão transportada na galeria.

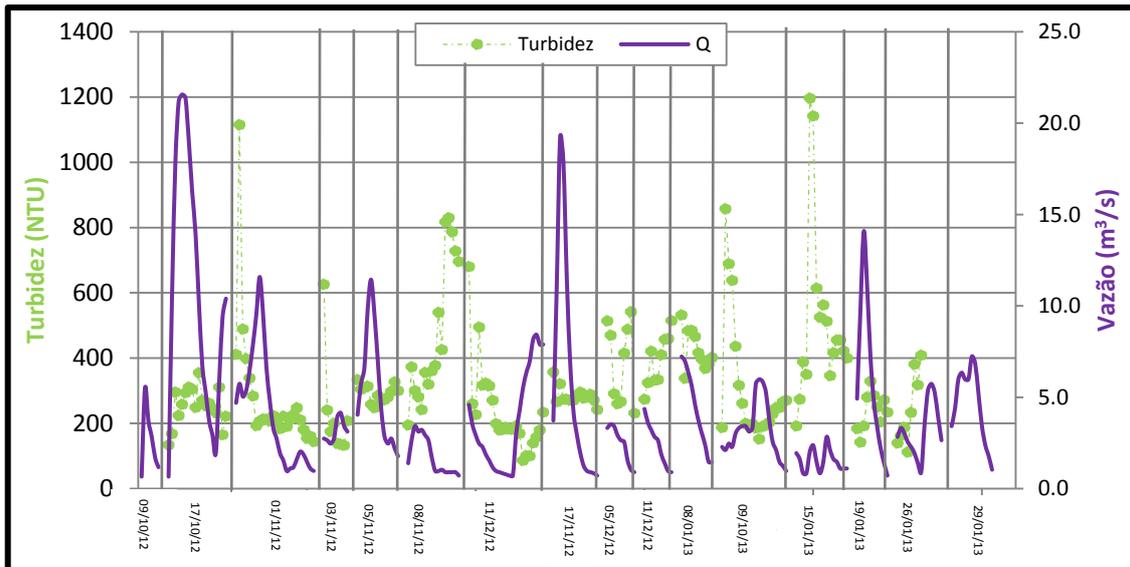


Figura 5-30. Análise da Turbidez ao longo do tempo na sub-bacia do Iate.

Na Figura 5-31 pode-se observar que no dia 08/11/2012, verificou-se uma grande amplitude na variação da turbidez, provavelmente por ter sido um evento com um intervalo de cinco horas sem precipitação, quando houve o retorno da chuva a turbidez apresentou valores bastante elevados, semelhante ao que aconteceu no evento do dia 15/01/2013.

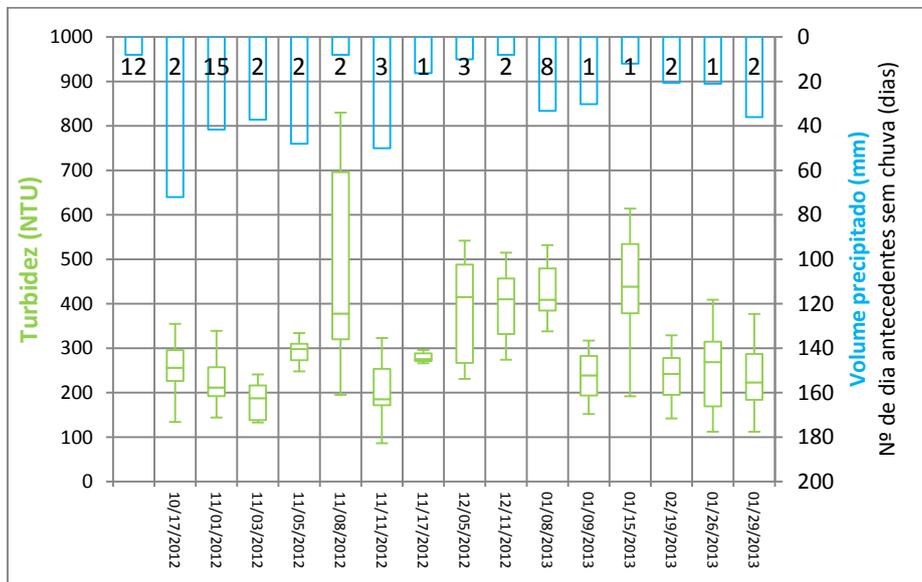


Figura 5-31. Análise da Turbidez por evento na sub-bacia do Iate.

Na Tabela 5-13 são apresentados alguns parâmetros estatísticos dos valores. Observa-se que o valor da média da turbidez é bastante elevado, 316 NTU, quando comparado com Pimentel (2009).

Tabela 5-13. Parâmetros estatísticos para os valores de turbidez.

<b>PARÂMETROS ESTATÍSTICOS</b>	<b>TURBIDEZ</b>
<b>Média</b>	315,5
<b>Mediana</b>	274
<b>Moda</b>	271
<b>Desvio padrão</b>	171,9
<b>Intervalo</b>	1109,7
<b>Mínimo</b>	86,3
<b>Máximo</b>	1196
<b>Nº de amostras analisadas</b>	217

A turbidez é um parâmetro físico que pode ser constatado visualmente assim que a coleta é realizada antes mesmo da medição no laboratório. Nas Figura 5-32 e Figura 5-33 são mostradas as amostras dos eventos do dia 09/10/2012 (Figura 5-32) e 17/10/2012 (Figura 5-33) na sub-bacia do Iate, primeiros eventos desse ano hidrológico. Nota-se que as duas/três primeiras garrafas apresentaram uma coloração mais escura, provavelmente devido à presença de matéria orgânica, enquanto que as demais amostras apresentam um tons mais amarronzados.

Na Figura 5-34 são apresentadas as amostras na sub-bacia do C.O. no último evento coletado, 24/02/2013. Percebe-se que há uma diminuição da tonalidade ao longo do tempo, pois o “*first flush*” carrega o material acumulado no solo, tornando o início escoamento superficial mais turvo.



Figura 5-32. Amostras do dia 09/10/12 na bacia do Iate.



Figura 5-33. Amostras do dia 17/10/12 na sub-bacia do Iate.



Figura 5-34. Evento 24/02/12 na sub-bacia do C.O.

Nas Figura 5-35 a Figura 5-37 é possível visualizar as águas pluviais da drenagem em contato com a água do Lago Paranoá nas duas sub-bacias. Percebe-se que nas sub-bacias há diferentes formas de interação com o lago, variando de acordo com o ressaltado provocado pela forma de saída da galeria.



Figura 5-35. Encontro das águas pluviais oriundas da drenagem urbana na sub-bacia do Iate.



Figura 5-36. Detalhe do encontro das águas no exultório do Iate.



Figura 5-37. Encontro das águas pluviais oriundas da drenagem urbana na sub-bacia do C.O.

#### 5.4.2.2. Condutividade

Na sub-bacia do C.O. a condutividade variou ao longo do tempo com uma diferença de  $120 \mu\text{S}/\text{cm}$ , com o valor máximo de  $138,7 \mu\text{S}/\text{cm}$  e o mínimo de  $18,52 \mu\text{S}/\text{cm}$ , para os eventos do dia 24/02/2013 e 03/11/2013, respectivamente (Figura 5-38). Percebe-se também, que não há relação consistente entre a vazão e a condutividade, podendo esse parâmetro estar mais relacionado como o número de dias secos antecedentes.

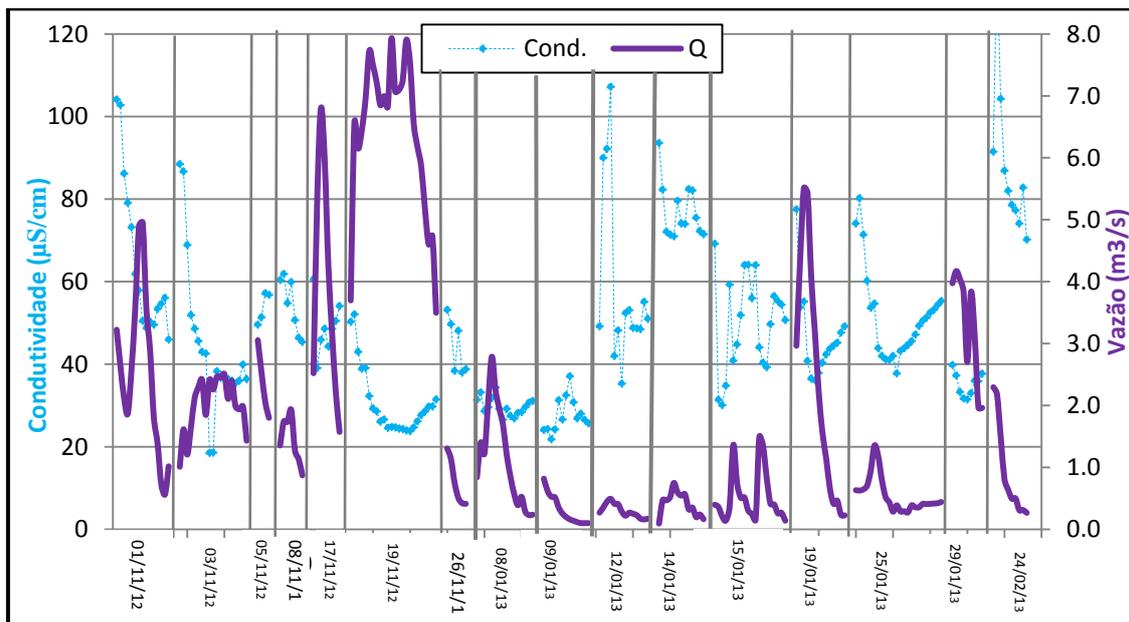


Figura 5-38. Análise da Condutividade ao longo do tempo na sub-bacia do C.O.

Sabe-se que a condutividade está associada aos sólidos dissolvidos presentes nas amostras de água e podem-se destacar os eventos mais significativos a partir da análise dos dados na Figura 5-39. O evento do dia 03/11/2012 foi posterior a chuvas significativas, como a do dia 01/11/2012, que pode ter carregado muitos sólidos, e o que permaneceu foi lavado no escoamento inicial do dia 3. Já o evento do dia 24/02/2013 teve um período antecedente de mais de 20 dias sem chuva, intervalo suficiente para

que houvesse material depositado no solo para ser lavado. Pode-se reparar que o menor valor medido nesse dia foi de 70,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , superior à média dos valores medidos, 48,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabela 5-14).

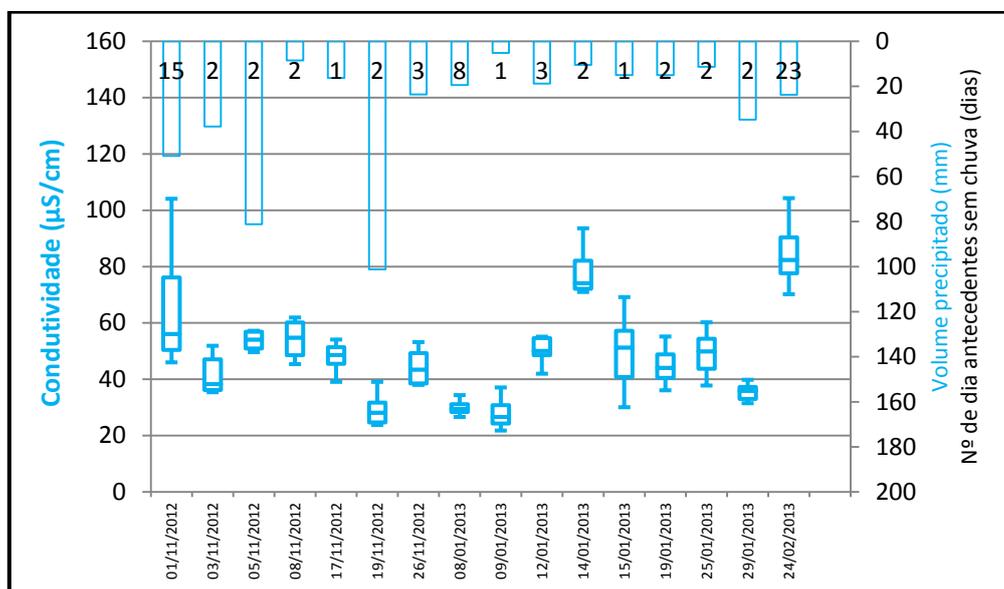


Figura 5-39. Análise da Condutividade por evento na sub-bacia do C.O.

Tabela 5-14. Parâmetros estatísticos para os valores da condutividade na sub-bacia do C.O.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	CONDUTIVIDADE
Média	48,86
Mediana	45,6
Moda	50,5
Desvio padrão	19,87
Intervalo	120,1
Mínimo	18,5
Máximo	138,7
Nº de amostras analisadas	216

Na Figura 5-40 é mostrado o comportamento da condutividade ao longo da onda de cheia para o evento do dia 24/02/12, onde se percebe pouca variação desse parâmetro, e o pico da condutividade veio após o pico da vazão.

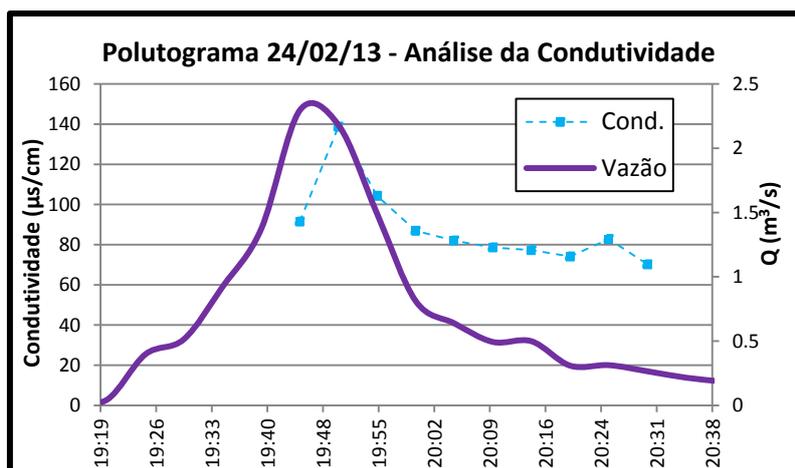


Figura 5-40. Polutograma da condutividade e hidrograma no evento do dia 24/02/2013 na sub-bacia do C.O.

Na sub-bacia do Iate, os valores encontrados da condutividade são aproximadamente 30% maiores do que a média e a mediana na sub-bacia do C.O, conforme pode ser comparado pelas Tabela 5-14 e Tabela 5-15.

Tabela 5-15. Parâmetros estatísticos para os valores da condutividade na sub-bacia do Iate.

<b>PARÂMETROS ESTATÍSTICOS</b>	<b>CONDUTIVIDADE</b>
<b>Média</b>	63,0
<b>Mediana</b>	60,3
<b>Moda</b>	61,9
<b>Desvio padrão</b>	31,1
<b>Intervalo</b>	192,3
<b>Mínimo</b>	16,7
<b>Máximo</b>	209,0
<b>Nº de amostras analisadas</b>	213

O valor máximo encontrado nessa sub-bacia foi de 209µS/cm para o evento do dia 01/11/2012, que corresponde ao evento com um dos maiores valores de sólidos totais registrados.

Na Figura 5-41 é possível observar que os picos no gráfico correspondem às primeiras amostras de cada evento, no qual os primeiros 10 minutos de coleta.

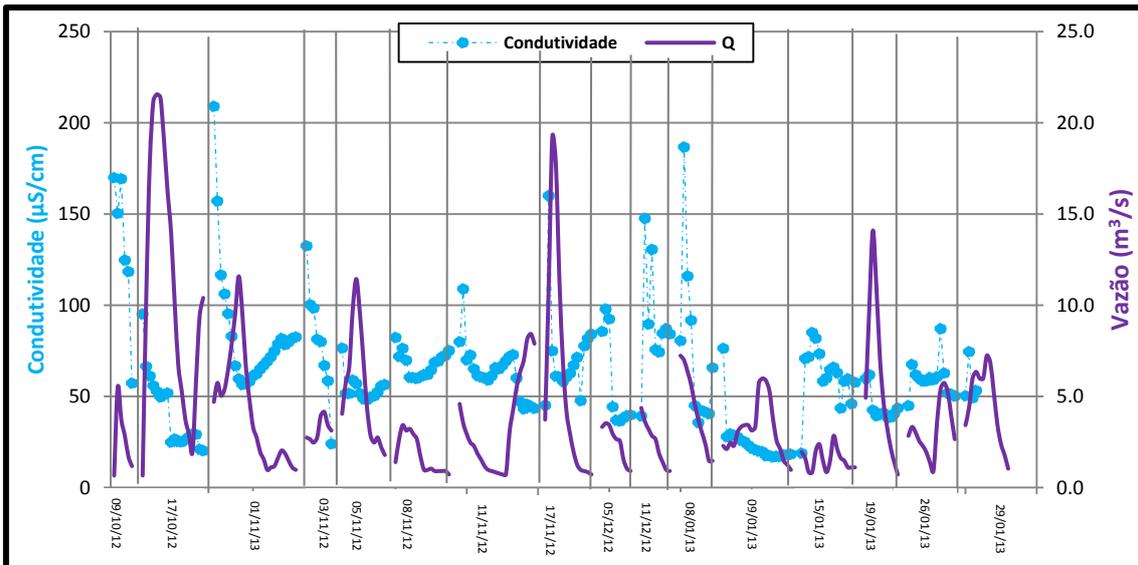


Figura 5-41. Análise da Condutividade ao longo do tempo em cada evento na sub-bacia do Iate.

Na Figura 5-42 é possível verificar a variação da condutividade em cada evento. O menor valor dentre os eventos foi de 16,7  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , no evento do dia 09/01/13. E o evento que apresentou maior variação foi o registrado no dia 09/10/12.

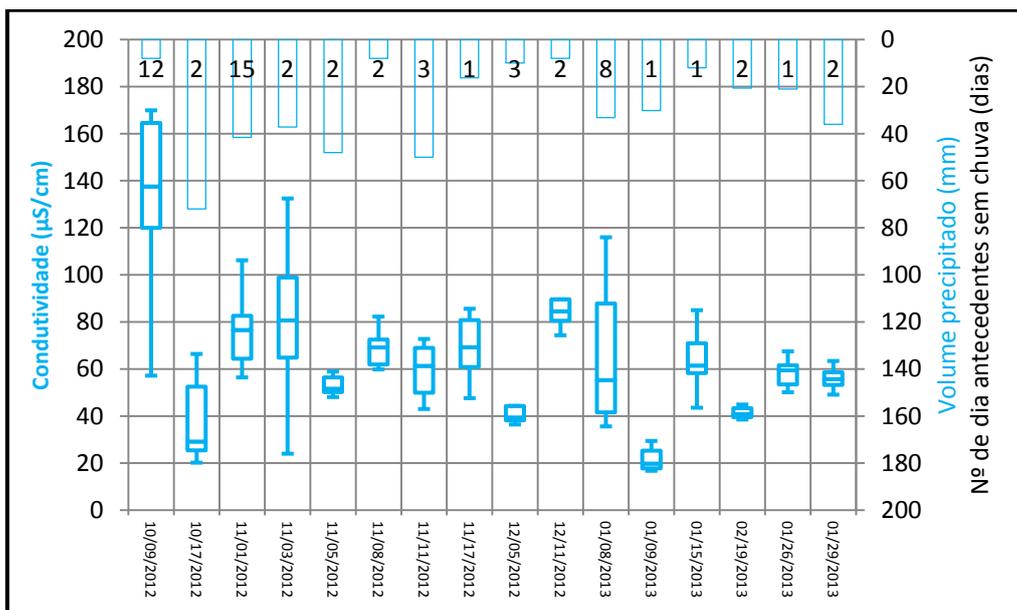


Figura 5-42. Análise da Condutividade por evento na sub-bacia do Iate.

Analisando o comportamento da condutividade ao longo de um evento chuvoso, destacou-se o do dia 09/10/12 (Figura 5-43). Nele, nota-se que há um pico no valor da condutividade depois do pico de vazão, e que os valores da condutividade decresceram à medida que a vazão também diminuiu.

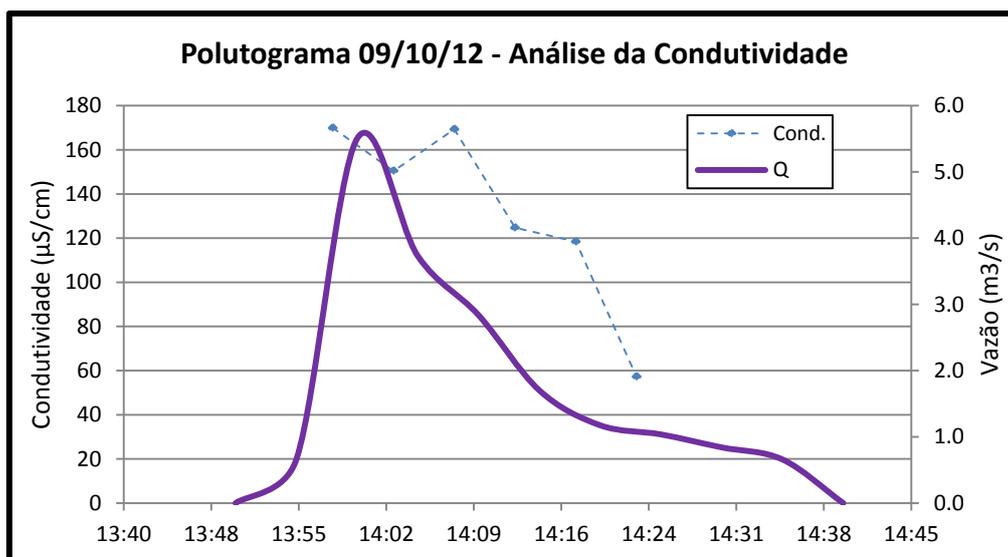


Figura 5-43. Polutograma da condutividade e hidrograma no evento do dia 09/10/2013 na sub-bacia do Iate.

### 5.4.2.3. Sólidos

Os sólidos são variáveis muito importantes na análise da qualidade dessas águas de drenagem urbana que, dentre os principais problemas ambientais que podem causar, está o assoreamento, principalmente se o corpo receptor for um lago. Como consequência, a utilização do ambiente aquático pode ser prejudicada, principalmente com relação aos usos para recreação e paisagismo. Portanto, é importante monitorar os sólidos que aportam no Lago Paranoá por meio do sistema de drenagem pluvial.

Na Figura 5-44 estão organizadas as análises dos sólidos totais, suspensos e dissolvidos na sub-bacia do C.O. Percebe-se que há um comportamento consistente, caracterizado pela maior concentração dos sólidos no início de cada evento e uma redução ao longo o desenvolvimento do mesmo. Os valores dos picos dos eventos aparentam ser da mesma ordem de grandeza, atingindo concentrações de ordem de 40mg/L. O valor máximo para o ST atingiu uma concentração de 52,95 mg/L, no evento do dia 24/02/2013.

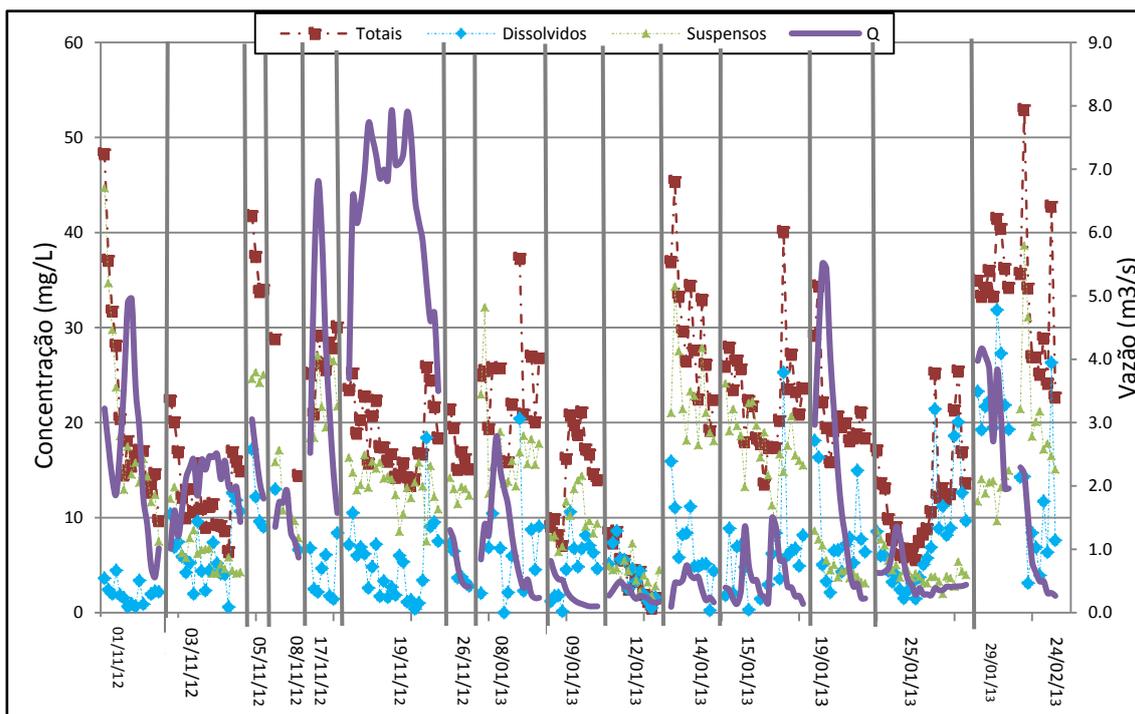


Figura 5-44. Análise das formas dos sólidos ao longo do tempo na sub-bacia do C.O.

Ainda na Figura 5-44 acima são mostradas ainda as variações entre os sólidos dissolvidos e os sólidos suspensos. Os SS apresentam valores maiores do que os SD e nas últimas chuvas do mês de janeiro essa tendência foi invertida, talvez devido ao fato de ter sido um mês bastante chuvoso.

Analisando a variação da concentração de sólidos durante uma onda de cheia, foi destacado o evento do dia 29/01/13 (Figura 4-112), que apresentou valores elevados de ST e SS, fato talvez associado à distribuição espacial da chuva, que ocorreu com maior intensidade mais a jusante da sub-bacia, próxima ao pluviógrafo do SG-12, uma região com a presença de áreas verdes.

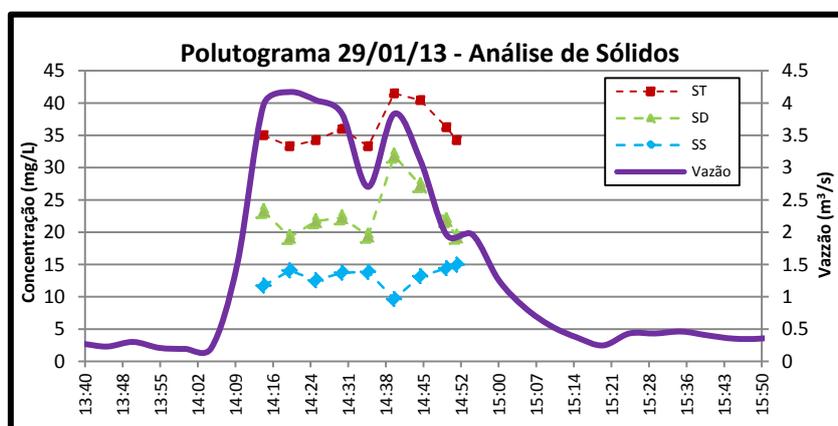


Figura 5-45. Polutograma da condutividade e hidrograma no evento do dia 29/01/2013 na sub-bacia do C.O.

Muitos poluentes ocorrem na forma particulada e costumam ter afinidade com os sólidos em suspensão (SS). Por conseguinte, a remoção de SS irá remover outros poluentes encontrados no escoamento superficial (Prodonoff, 2005), por isso é interessante aprofundar os estudos nesse tipo de sólido.

Foi elaborado o gráfico do tipo *boxplot* (Figura 5-46) dos SS. Nessa figura pode-se observar a variação desse parâmetro em cada evento. O comportamento é bastante heterogêneo e pode ter relação com a intensidade, distribuição espacial e temporal. No evento do dia 01/11/12 a intensidade foi de 7,21mm/h e uma duração de 430 min, precedido de 15 dias sem chuvas antecedentes significativas. Já no evento do dia 17/11/12, concentrado na porção final da sub-bacia, a altura da chuva foi de 32mm em 35 minutos numa região com a presença de grandes áreas verdes.

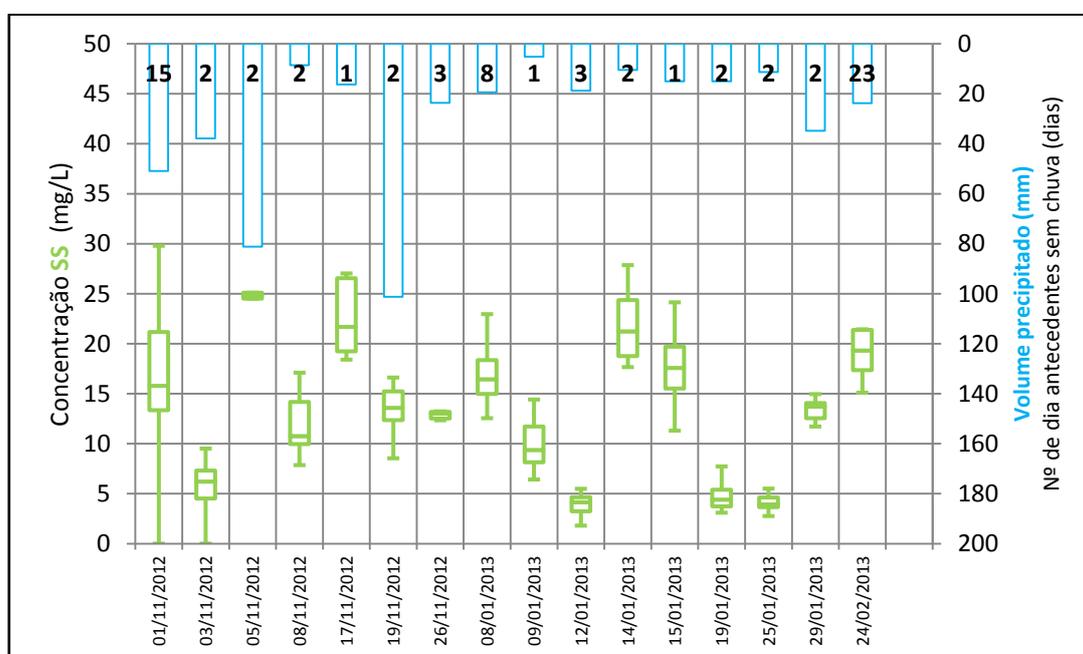


Figura 5-46. Análise dos SS em cada evento na sub-bacia na sub-bacia do C.O.

Na Tabela 5-16 encontra-se a estatística descritiva desses dados. Os ST tiveram média de aproximadamente 20 mg/L, e o valor máximo foi de 52,95 mg/L. Para os SS, a média geral da concentração foi de 12,93 mg/L e o valor máximo de 42,89 mg/L, mas para essa análise é melhor observar a concentração média por evento, pois considera o volume escoado. Há também uma diferença quanto ao número de análises de SS e SD, fato que ocorreu devido a problema no laboratório, como erros durante a mediação.

Tabela 5-16. Parâmetros estatísticos para os valores dos sólidos na sub-bacia do C.O.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	ST	SD	SS
<b>Média</b>	19,9	6,9	12,9
<b>Mediana</b>	18,8	5,7	13,1
<b>Moda</b>	17,1	2,1	18,6
<b>Desvio padrão</b>	9,6	5,8	7,6
<b>Intervalo</b>	52,4	31,8	42,8
<b>Máximo</b>	52,9	31,8	44,6
<b>Nº de amostras analisadas</b>	206	202	216

Calculando as concentrações médias por evento (CME) foi possível à construção do gráfico de barras da Figura 5-47. Foi obtida uma média de 14,55 mg/L, com valores oscilando entre 4,2 a 26,29mg/L e desvio padrão de 7,24.

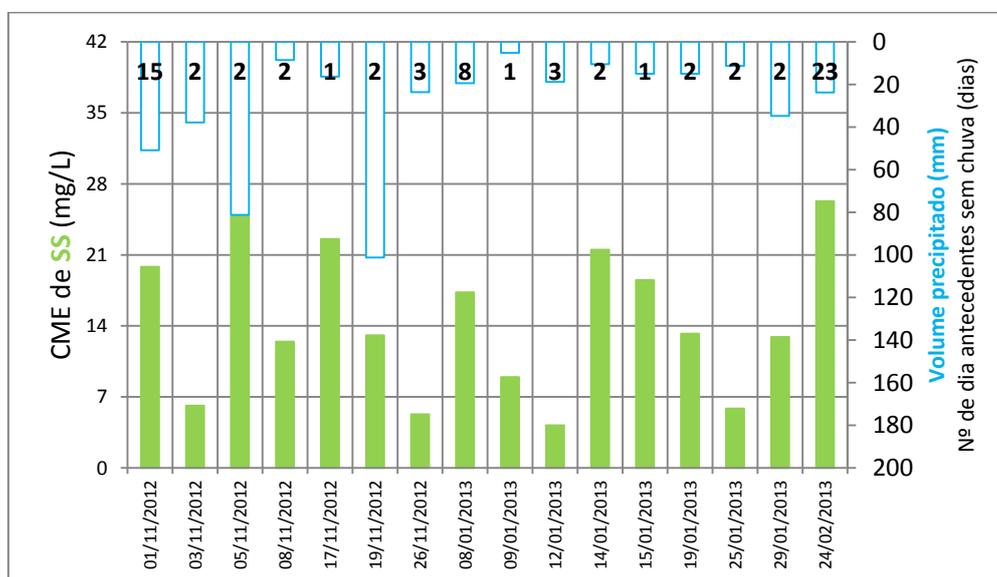


Figura 5-47. CME do SS em cada evento na sub-bacia do C.O.

Gomes (2004) realizou estudos na mesma sub-bacia e encontrou valores de SS superiores a 10mg/L em todos os eventos. Os valores do CME do SS do monitoramento de 2012/2013 apresentaram 68,75% dos eventos que ultrapassaram o valor de 10mg/L. Esse fato pode ser relacionado a movimentação de terra e as obras na sub-bacia, talvez mais intenso em 2004.

Para a sub-bacia do Iate, os valores dos sólidos foram muito maiores do os observados na sub-bacia do C.O. A média do ST, SS e SD foram superiores em 80%, 200% e 25%, respectivamente. Destaca-se a quantidade de SS nessa sub-bacia, associado à presença das construções. Percebe-se na Figura 5-48 que em quase a totalidade das análises, a

parcela de SS é a que compõe majoritariamente os ST, sendo praticamente superior em todos os pontos à de SD.

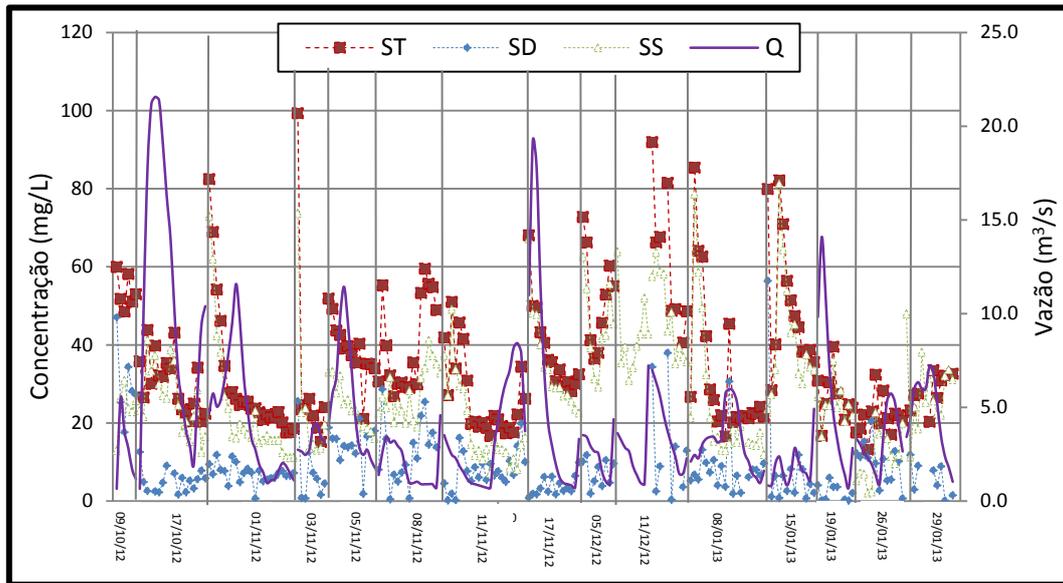


Figura 5-48. Análise das formas de sólidos ao longo do tempo na sub-bacia do Iate.

Ainda na Figura 5-48 percebem-se os valores elevados das concentrações de sólidos, pois o ST teve o máximo de 99,3mg/L no evento do dia 03/11/12. Além de outros valores extremos significativos, como 82,45 mg/L do evento 01/11/12, 91,9 mg/L do dia 08/01/13, 85,4mg/L do evento do dia 09/01/13, que alertam sobre a quantidade de cargas desse poluente estão sendo lançadas para o Lago Paranoá.

O gráfico de sólidos do evento do dia 03/11/12 é mostrado com o hidrograma do evento na Figura 5-49. Constata-se que o pico da concentração ocorre no início do hidrograma, devido provavelmente à carga de lavagem inicial do evento, mesmo após um evento significativo.

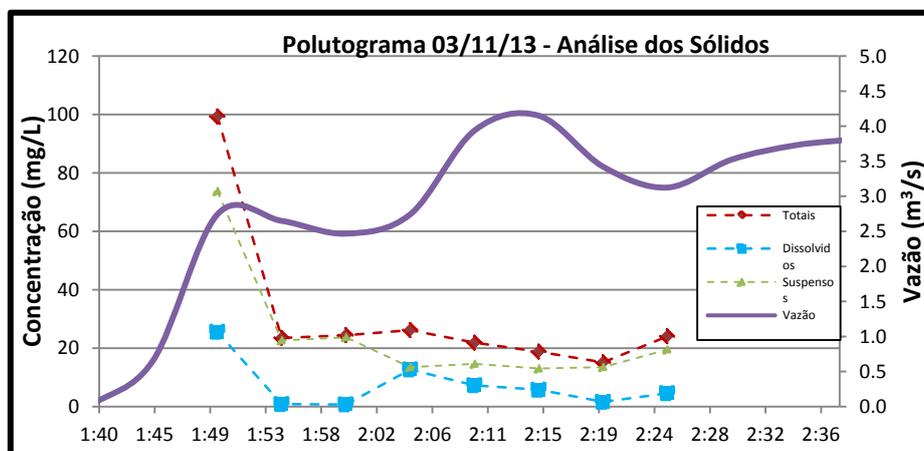


Figura 5-49. Polutograma da condutividade e hidrograma no evento do dia 03/11/13 na sub-bacia do Iate.

A concentração do SS na sub-bacia do Iate é mostrada por meio da Figura 5-50. Percebe-se que os eventos do mês de dezembro apresentaram valores mais elevados comparados aos demais, provavelmente devido ao grande intervalo de tempo, visto que a precipitação intensa prévia ocorreu dia 23/11/2012, com uma média 14,3mm/h, um intervalo de 12 dias. Confirmando essa hipótese, o evento do dia 09/01/2013 apresentou valores de SS muito baixos, possivelmente porque foi antecedido por uma precipitação intensa que ocorreu no dia 08/01/2013 e que provavelmente carregou os sedimentos da sub-bacia.

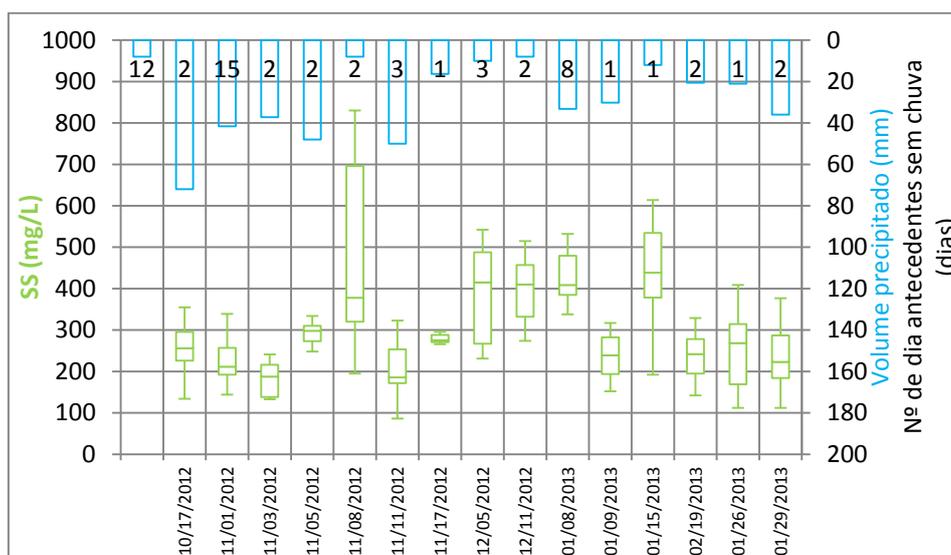


Figura 5-50. Análise das formas dos sólidos suspensos em cada evento na sub-bacia do Iate.

Calculando-se o CME dos SS na sub-bacia do Iate, foi construído o gráfico da Figura 5-51 com os valores correspondentes em cada evento. A média foi de 29,64mg/L, oscilando entre valores de 7 a 51,66 mg/L, que foi superior aos valores de todos os eventos da sub-bacia do C.O.

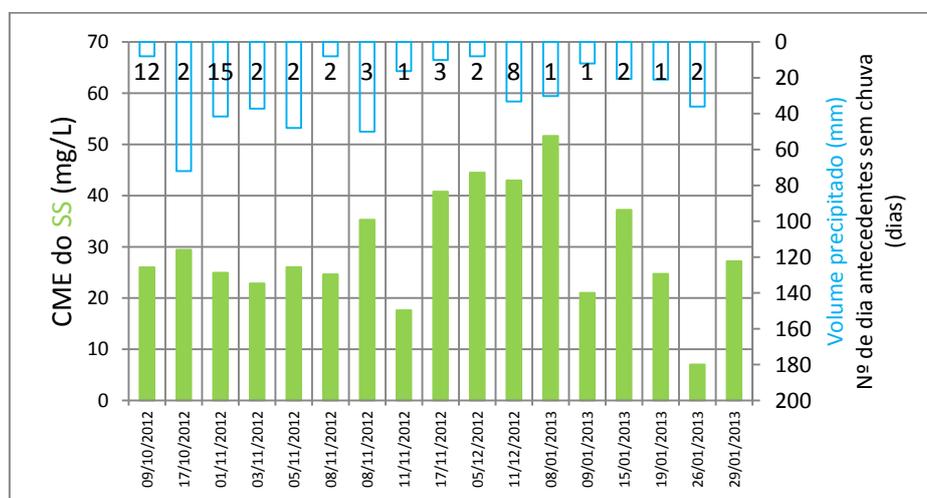


Figura 5-51. CME do SS em cada evento na sub-bacia do Iate.

Na Tabela 5-17 são apresentados os principais parâmetros estatísticos dos sólidos na sub-bacia do Iate. Percebe-se o valor elevado para a média do ST, causados pela presença de SS.

Tabela 5-17. Parâmetros estatísticos para os valores dos sólidos na sub-bacia do Iate.

<b>Parâmetros estatísticos</b>	<b>ST</b>	<b>SD</b>	<b>SS</b>
<b>Média</b>	35,3	8,8	27,8
<b>Mediana</b>	30,6	6,9	24,5
<b>Desvio padrão</b>	16,4	8,2	14,8
<b>Intervalo</b>	86,1	56,2	79,2
<b>Mínimo</b>	13,2	0,1	2,0
<b>Máximo</b>	99,3	56,3	81,3
<b>Nº de amostras analisadas</b>	201	197	217

#### 5.4.2.4. Nitrogênio

As cargas de nutrientes encontradas no escoamento urbano são geralmente baixas quando comparadas com outras fontes do ambiente, sendo normalmente associadas à ligação de esgotos domésticos nas galerias de drenagem pluvial. Outra fonte seria advinda da agricultura, uso e ocupação não encontrados em sub-bacias urbanas. No entanto, a fertilização de gramados e canteiros pode gerar cargas de nutrientes.

Assim, a determinação das formas predominantes de nitrogênio é capaz de fornecer indicações sobre a temporalidade e espacialidade do estágio da poluição acontecida a montante, se a origem desse nutriente for os esgotos. Caso a poluição seja recente, o nitrogênio estará sob a forma de nitrogênio orgânico ou amônia, e se antiga, estará sob a forma de nitrato, com a presença reduzida de nitrito (Von Sperling, 2005).

Na Figura 5-52 é possível observar a variação temporal do nitrogênio. Percebe-se que existe uma predominância do nitrato nas amostras nos mês de novembro de 2012, vindo depois a ocorrer maior incidência de amônia. Esse fato decorre da época seca, quando os poluentes vão se acumulando na sub-bacia e na rede de drenagem, eventualmente ocorre oxidações de outras formas, transformando-se na forma de nitrato. Após os primeiros três meses de precipitação, já ocorreu a lavagem de parte significativa do nitrogênio depositado, ocorrendo em seguida a maior presença da poluição do tipo recente, no caso a amônia, confirmando a presença dos esgotos domésticos, pois a fonte não cessa.

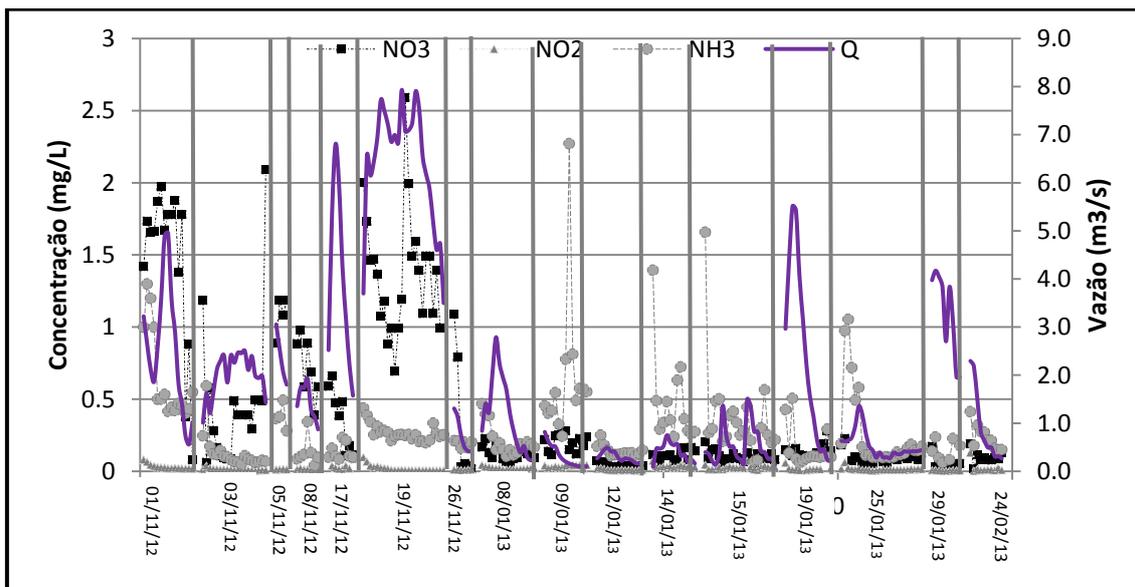


Figura 5-52. Análise das formas de Nitrogênio ao longo do tempo em cada evento na sub-bacia do C.O.

Na Figura 5-53 e Figura 5-54 visualizam-se as formas de nitrogênio durante os eventos, e comparou-se o primeiro evento monitorado no C.O., 01/11/12, onde as parcelas de nitrato estavam muito elevadas, com o primeiro evento em que ocorre o predomínio da amônia, 08/01/13.

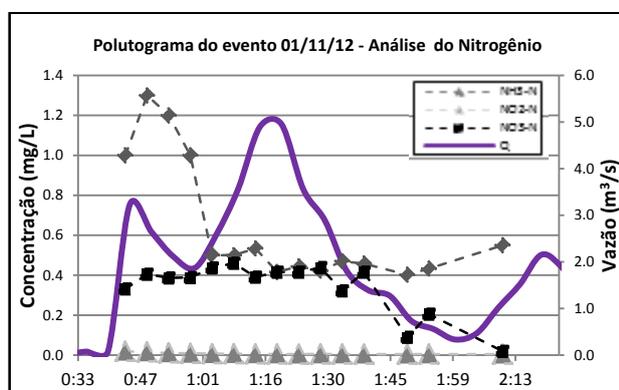


Figura 5-53. Polutograma das formas de nitrogênio e hidrograma no evento do dia 01/11/12 na sub-bacia do C.O.

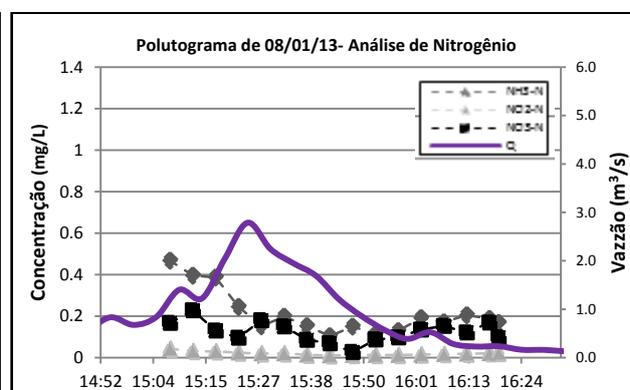


Figura 5-54. Polutograma das formas de nitrogênio e hidrograma no evento do dia 08/01/13 na sub-bacia do C.O.

Nos eventos descritos foram calculadas as parcelas de cada forma do nitrogênio. No evento da Figura 5-53, 71,35% do N estava sob a forma de nitrato, 24,27% de amônia e 1,38% de nitrito. Já no evento da Figura 5-54, 58,8% do nitrogênio estava sob a forma de amônia, 35,41% de nitrato e apenas 5,8% sob a forma de nitrito. Percebe-se assim a alteração da distribuição do nitrogênio ao longo do período chuvoso.

Outra observação refere-se ao nitrito, para o qual o maior valor obtido foi de 0,129mg/L, com uma média observada de 0,021mg/L em todos os eventos, conforme observado na Tabela 5-18. As concentrações de nitrito são geralmente baixas em corpos d'água, devido à instabilidade da molécula, e por estar na situação de transição entre a amônia e o nitrato, conforme é mostrado na Equação 5-4.

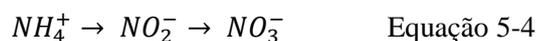


Tabela 5-18. Parâmetros estatísticos as formas de Nitrogênio.

<b>PARÂMETROS ESTATÍSTICOS</b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	<b>NH<sub>3</sub><sup>+</sup></b>
<b>Média</b>	0,4	0,02	0,29
<b>Mediana</b>	0,1	0,01	0,21
<b>Desvio padrão</b>	0,5	0,01	0,27
<b>Intervalo</b>	2,5	0,126	2,23
<b>Mínimo</b>	0,01	0,003	0,04
<b>Máximo</b>	2,5	0,12	2,27
<b>Nº de amostras analisadas</b>	214	215	215

Na Tabela 5-18 é possível observar a pequena diferença dos dados no desvio padrão e na variância, pois os valores encontrados são muito pequenos. O nitrato e a amônia apresentam os intervalos dos valores medidos semelhantes, demonstrando a variabilidade das substâncias ao longo do monitoramento.

De maneira geral, o valor do nitrogênio total (somatório das formas nitrato, nitrito e amônia) também diminui ao longo do período chuvoso, conforme observado na Figura 5-55, onde o gráfico boxplot expressa essa redução.

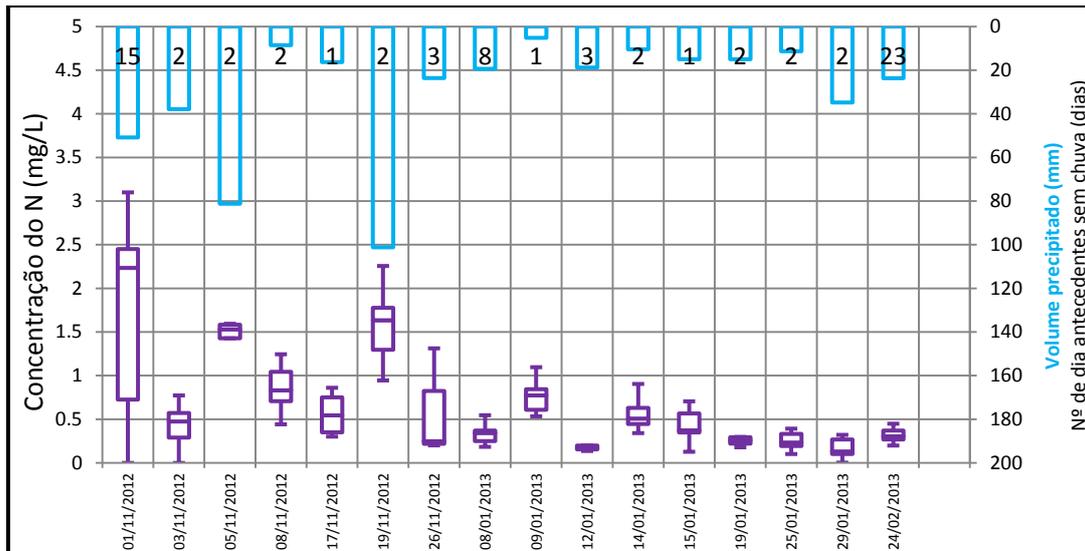


Figura 5-55. Análise do nitrogênio total em cada evento na sub-bacia do C.O.

A Figura 5-56 mostra uma redução na CME do nitrogênio, fato devido à dependência da concentração de N não só do escoamento urbano, como também dos lançamentos de esgoto na galeria. Um dos menores valores do CME para o N encontrado foi no evento do 08/01/2013, que pode ser atribuído ao período antecedente que corresponde ao recesso de final de ano, quando em geral há uma diminuição do lançamento de efluentes domésticos porque parte da população está viajando e a universidade em recesso. Outro fator que chama atenção para os valores baixos de nitrogênio aconteceram com frequência durante o final de semana, como 03/11/12, 17/11/12, 12/01/13 e 19/01/13, confirmando a influência do esgoto oriundo de estabelecimentos que funcionam em horário comercial.

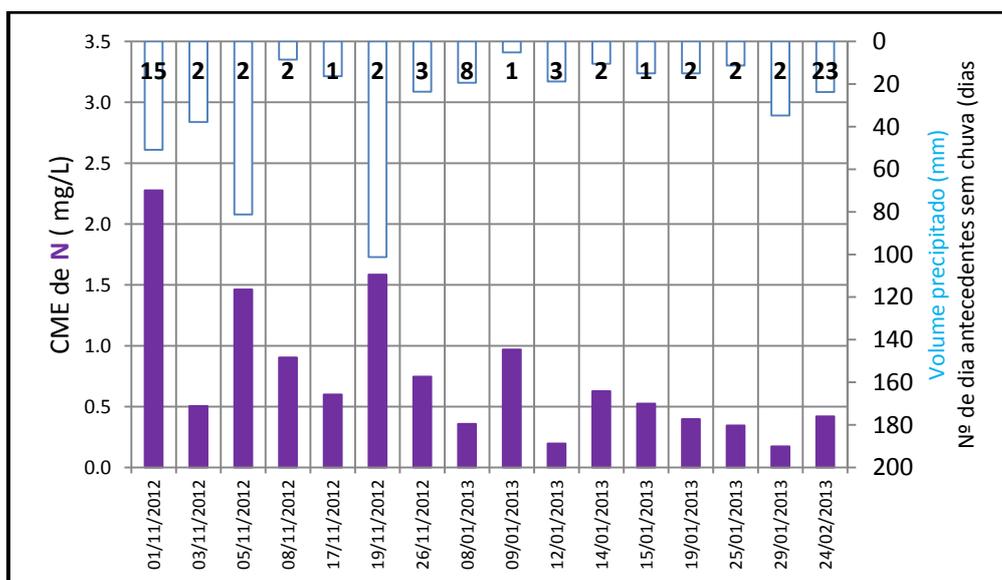


Figura 5-56. CME do N em cada evento na sub-bacia do C.O.

Na sub-bacia do Iate o comportamento das formas do nitrogênio é diferente (Figura 5-57), e se percebe que há uma menor influência de esgotos domésticos lançados nessa galeria de drenagem. Os picos estão associados às primeiras amostras do evento, que no começo da época chuvosa é camuflado pela presença do nitrato, mas que a partir de 03/11/12 recebe maior destaque. Os altos valores de nitrato encontrados no início do monitoramento pode ser associado ao acúmulo de nutrientes e matéria orgânica durante o período seco e a lavagem realizada pelas primeiras chuvas.

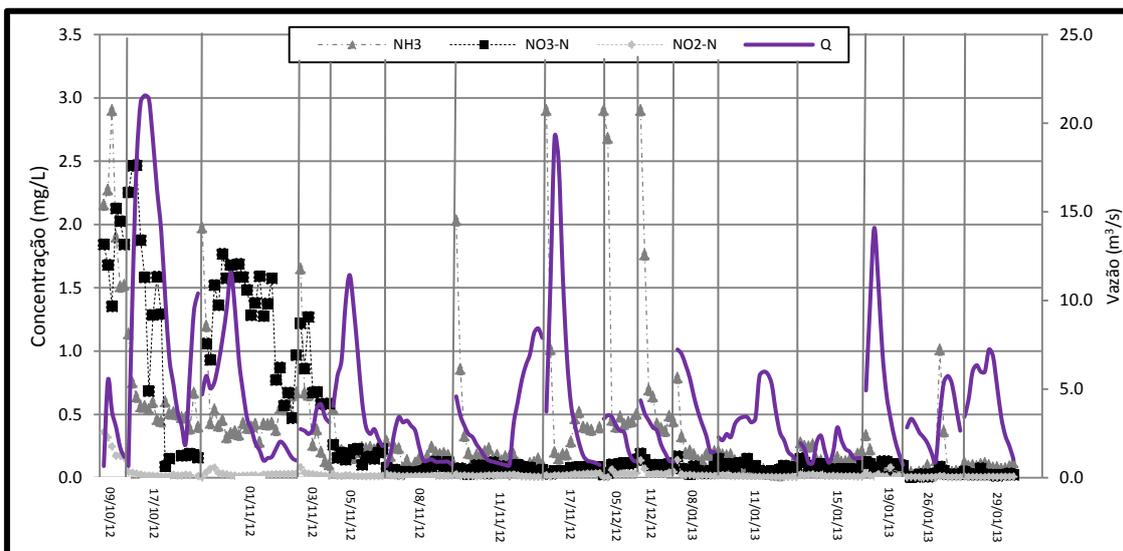


Figura 5-57. Análise das formas de Nitrogênio ao longo do tempo na sub-bacia do Iate.

Ainda na Figura 5-57, percebe-se que em dezembro e no início de janeiro houve algum tipo de lançamento nessa galeria de drenagem pluvial. Essa descarga foi identificada pelos valores elevados de amônia, que consiste na indicação de poluição mais recente.

Analisando a variação do nitrogênio ao longo de cada evento chuvoso ao longo do tempo percebe-se uma redução nos valores da concentração. No início do período chuvoso variaram entre 3,5 e 4,5 mg/L, e, a partir de janeiro, os valores chegaram no máximo de 0,5mg/L.

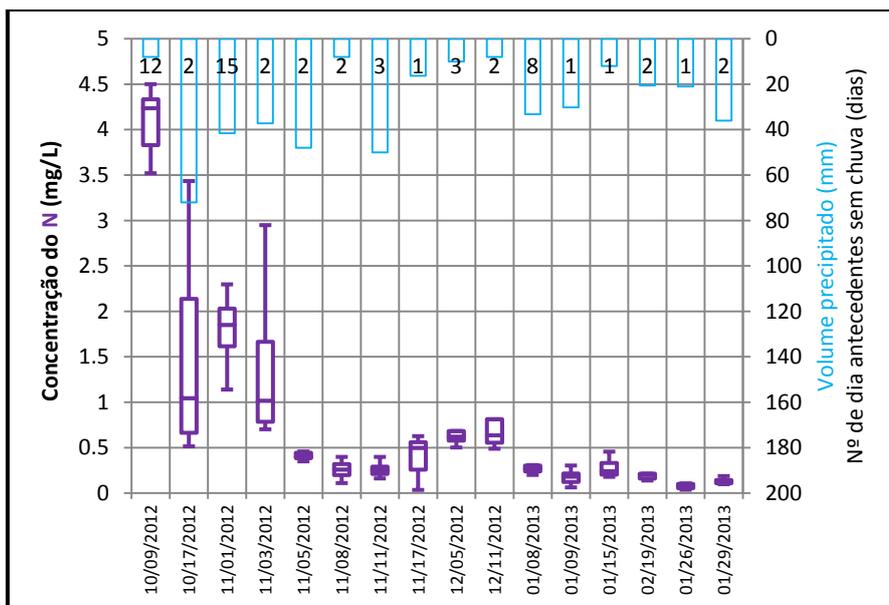


Figura 5-58. Análise do nitrogênio total em cada evento na sub-bacia do Iate.

Analisando o evento do dia 17/10/12 (Figura 5-59) observa-se o predomínio do nitrato para o primeiro evento, enquanto que no segundo evento há o predomínio da amônia, cujos valores elevados restringem-se aos primeiros 10 minutos. Para o evento do dia 17/10/12, início da época chuvosa, há acumulado sobre as superfícies nutrientes sob a forma mais oxidada do nitrogênio, o nitrato, que se prolonga até o evento do dia 08/11/12 (Figura 5-57).

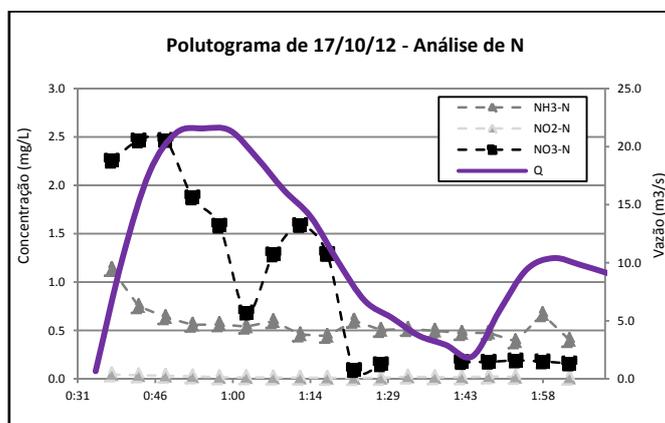


Figura 5-59. Polutograma das formas de nitrogênio e hidrograma no evento do dia 17/10/12 na sub-bacia do C.O.

No evento do dia 17/10/12, ainda é possível observar que o nitrato apresentou valores elevados nos 45 primeiros minutos, mas que há uma redução desse valor, enquanto que o valor da amônia modifica-se pouco. Destaca-se esse fato, porque no evento 51% do N estava sob a forma de  $\text{NO}_3^-$ , enquanto que 48% estava na forma de  $\text{NH}_4^+$ .

Calculando – se o CME do N (Figura 5-60), obteve-se uma média de 0,88mg/L, variando entre 0,13 a 4,19mg/L. De acordo com Baird e Jennings (1996) esse valor máximo corresponde a cargas difusas oriundas da agricultura. Somando os valores do CME médio para nitrato e nitrito, obteve-se o valor de 0,39mg/L, que para o mesmo autor corresponde a um parcelamento do uso e ocupação do tipo residencial (0,23), comercial (0,26) e das ruas (0,56), o que reflete bem a realidade da sub-bacia do Iate, pois a sub-bacia apresenta ainda uma área significativa de jardins e gramados.

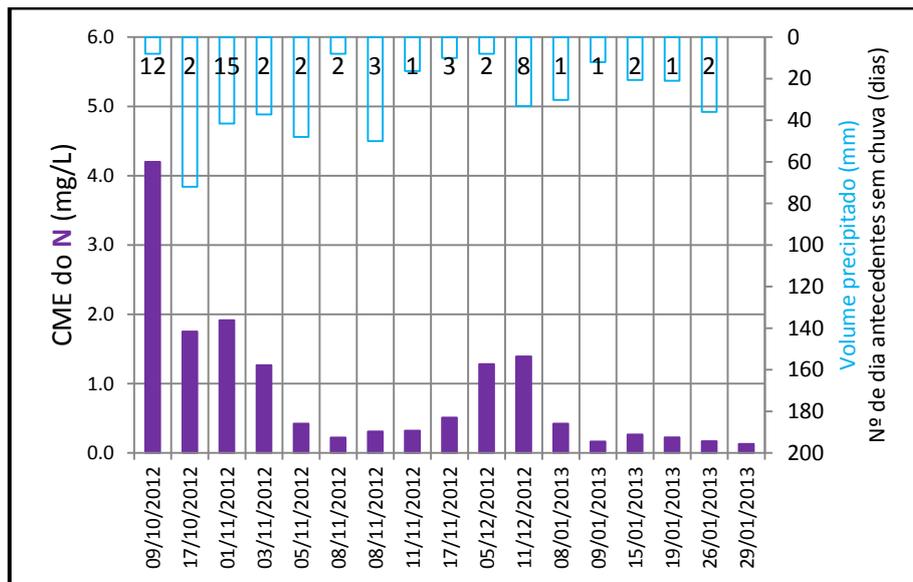


Figura 5-60. CME do nitrogênio total em cada evento na sub-bacia do Iate.

#### 5.4.2.5. Fósforo

No escoamento superficial a origem do fósforo está relacionada com a deposição atmosférica, as águas residuárias domésticas contendo detergentes, o lixiviado de folhas de árvore e fertilizantes de gramado (Pelaez-Rodriguez, 2001; Ahlman, 2006; Von Sperling, 2005). Esse nutriente pode estar sobre a forma iônica, fosfato, que é essencial para os organismos aquáticos, mas lançamentos podem indicar poluição.

O P, juntamente com o N, em excesso, são os principais responsáveis em causar eutrofização em lagos. Assim, é indispensável o conhecimento da quantidade desses nutrientes que estão lançando no Lago Paranoá, visto que, normalmente, apresenta-se em menor quantidade, como fator limitante, e uma das formas de remediação desse problema é por meio da remoção do P dos esgotos.

Os dados de fósforo ao longo do tempo de monitoramento juntamente com a vazão medida são mostrados na Figura 5-61. No gráfico, percebe-se que o valor máximo de fósforo total não ultrapassa 0,7mg/L, enquanto que o fósforo reativo atinge 0,39mg/L. Esse é mais um indicador da presença de esgotos domésticos, mais precisamente das águas cinzas, águas residuais oriundas da lavagem de pratos, roupas e do banho, onde se faz o uso de detergentes, que se encontram diluídos com a água pluvial nas galerias.

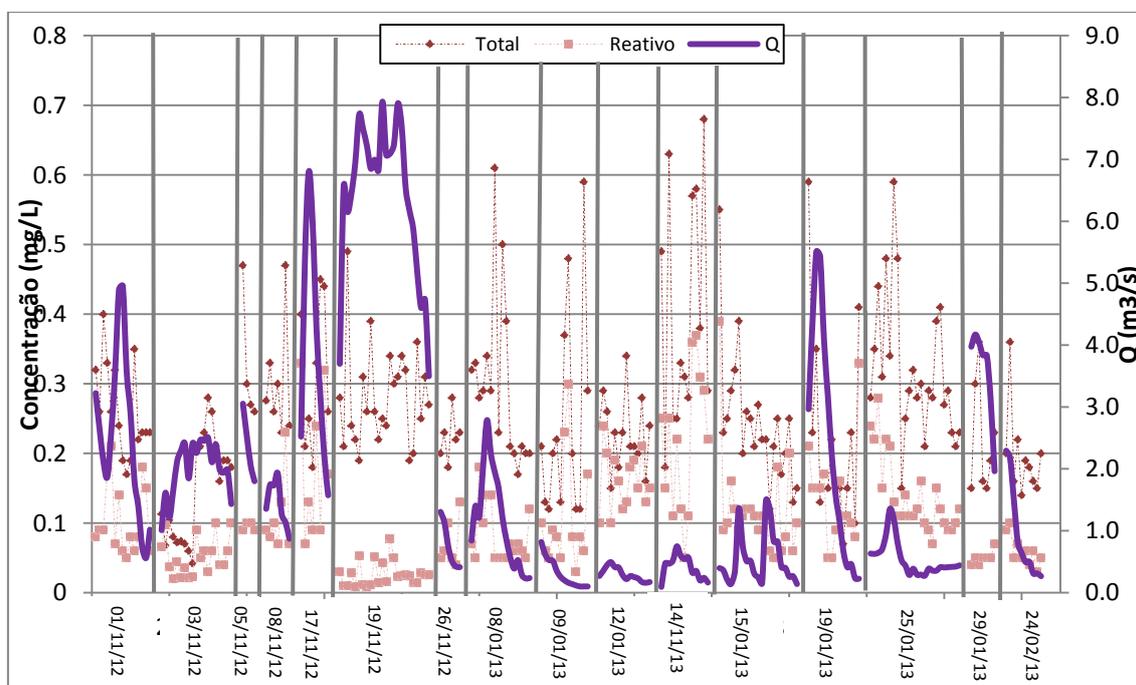


Figura 5-61. Análise das formas de Fósforo ao longo do tempo em cada evento na sub-bacia do C.O.

Na Figura 5-62 mostra-se a variação do PT em cada evento. Observa-se que essa variação é pequena, apresentando uma maior amplitude no evento do dia 14/01/13 (Figura 5-63), com vazão máxima de 0,74m<sup>3</sup>/s, um evento considerado pequeno. No evento no dia 24/02/12, a vazão máxima e a concentração de fósforo foi menor (Figura 5-64).

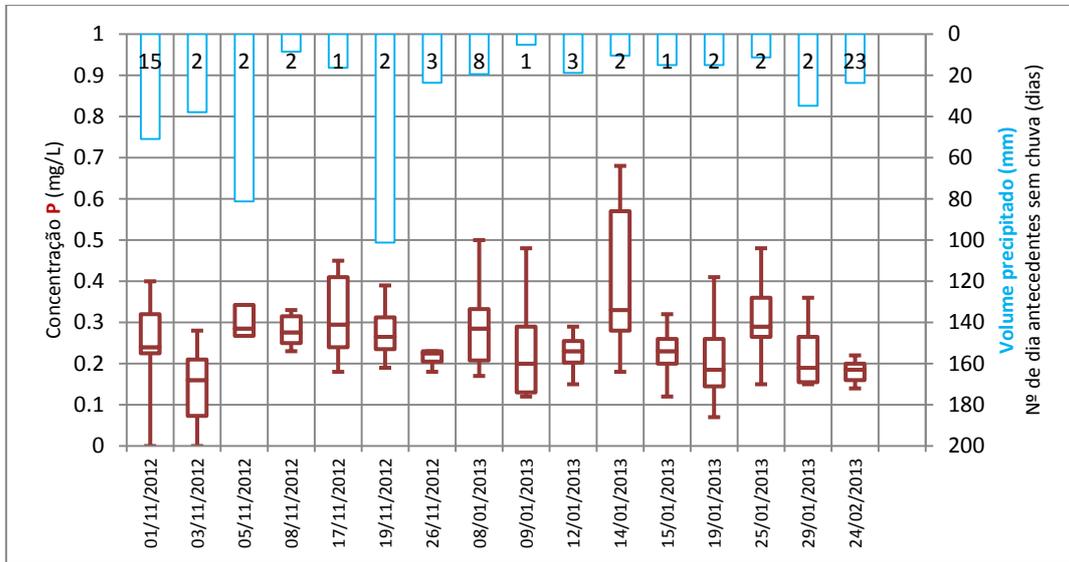


Figura 5-62. Análise do PT em cada evento na sub-bacia do C.O.

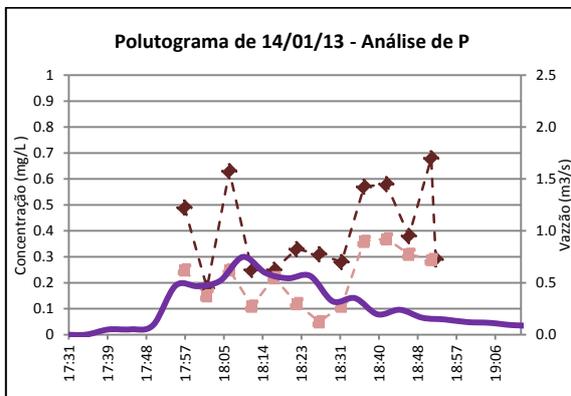


Figura 5-63. Polutograma das formas de fósforo e hidrograma no evento do dia 14/01/13 na sub-bacia do C.O.

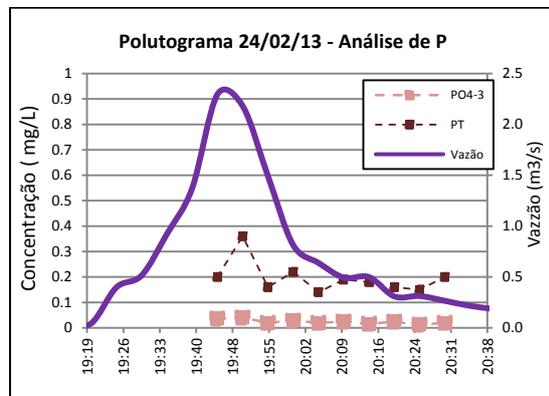


Figura 5-64. Polutograma das formas de fósforo e hidrograma no evento do dia 24/02/13 na sub-bacia do C.O.

Na Tabela 5-19 encontram-se resumidos os valores estatísticos do parâmetro nas análises de fósforo para as amostras da sub-bacia do C.O., tanto de fósforo total como reativo, cujo valor médio da concentração foi e 0,264 para o PT e 0,105 no formato reativo, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>.

Tabela 5-19. Parâmetros estatísticos as formas de P na sub-bacia do C.O.

<b>PARÂMETROS ESTATÍSTICOS</b>	<b>PT</b>	<b>PO<sub>4</sub><sup>-3</sup></b>
<b>Média</b>	0,26	0,10
<b>Mediana</b>	0,24	0,09
<b>Desvio padrão</b>	0,11	0,075
<b>Intervalo</b>	0,638	0,38
<b>Mínimo</b>	0,042	0,008
<b>Máximo</b>	0,68	0,39
<b>Nº de amostras analisadas</b>	213	215

Comparando o CME do PT dos eventos ao longo do monitoramento, percebe-se que esse valor pouco se altera, mostrado pelo gráfico *boxplot* (Figura 5-62). Esse fato pode ser atribuído ao lançamento constante das águas cinzas, que contém maior concentração de fósforo, variando somente o volume escoado, e com isso alterando o grau de diluição dessas águas.

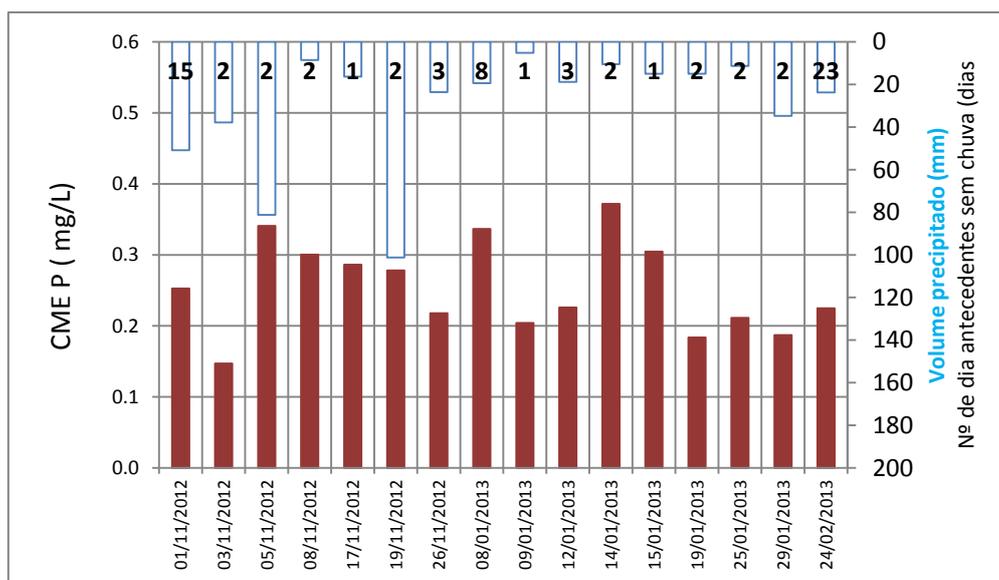


Figura 5-65. CME Fósforo Total em cada evento na sub-bacia do C.O.

O valor médio do CME do PT para a sub-bacia do C.O. foi de 0,25mg/L, variando entre 0,14 a 0,37. Comparando com os dados de Baird e Jennings (1996), corresponderia ao uso e ocupação que gerasse cargas de PT oriundas das ruas (0,22 mg/L).

Na sub-bacia do Iate o comportamento foi diferente, principalmente devido ao uso e ocupação do solo distinto da sub-bacia do C.O. Na Figura 5-66 e na Tabela 5-20 é possível visualizar o comportamento do fósforo ao longo do período de monitoramento.

Inicialmente, notam-se os altos valores dos picos da concentração de PT em algumas chuvas, como a do dia 17/10/12 (Figura 5-67), e 17/11/12 (Figura 5-68). Ambos os eventos, de características diferentes, o primeiro evento foi o que gerou o maior volume de escoamento superficial nessa bacia, 59559 m<sup>3</sup>, com uma intensidade média de precipitação de 16mm/h. E o segundo gerou metade do volume escoado, com uma intensidade de 4,62mm/h. Assim, os altos valores foram gerados por motivos diferentes. No primeiro, provavelmente foi devido ao arraste de material do solo proveniente da precipitação no início do período chuvoso quando o acúmulo de P era maior, enquanto que no segundo evento, o menor volume de água diminui a diluição do nutriente, aumentando a sua concentração.

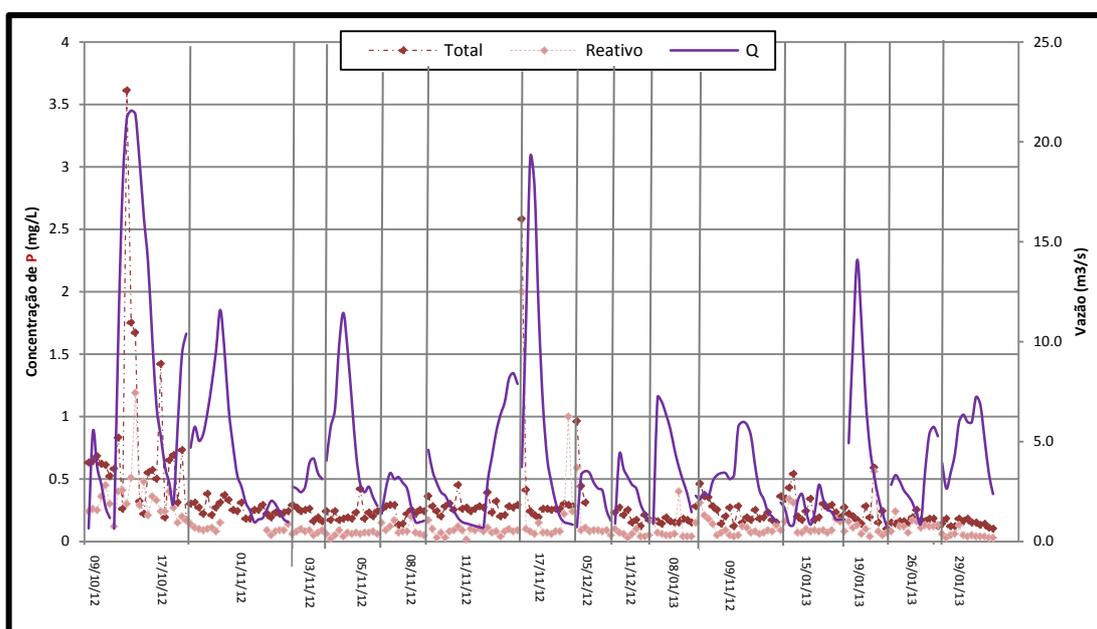


Figura 5-66. Análise das formas de Fósforo ao longo do tempo em cada evento na sub-bacia do Iate.

Tabela 5-20. Parâmetros estatísticos as formas de Fósforo na sub-bacia do Iate.

<b>PARÂMETROS ESTATÍSTICOS</b>	<b>PT</b>	<b>PO<sub>4</sub><sup>-3</sup></b>
<b>Média</b>	0,31	0,14
<b>Mediana</b>	0,24	0,09
<b>Desvio padrão</b>	0,35	0,19
<b>Intervalo</b>	3,51	1,98
<b>Mínimo</b>	0,10	0,02
<b>Máximo</b>	3,61	2,00
<b>Nº de amostras analisadas</b>	208	204

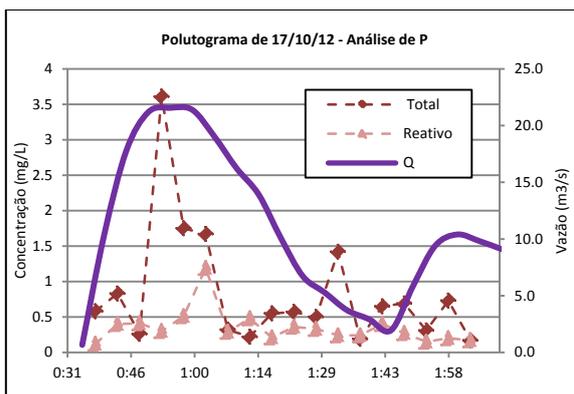


Figura 5-67. Polutograma das formas de P e hidrograma no evento do dia 17/10/12 na sub-bacia do Iate.

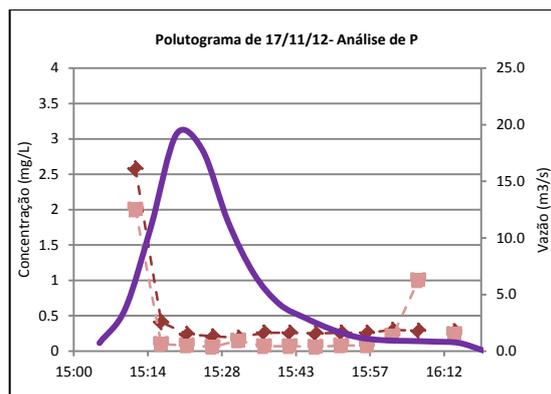


Figura 5-68. Polutograma das formas de P e hidrograma no evento do dia 17/11/12 na sub-bacia do Iate.

Na Figura 5-69, observa-se a variação desse parâmetro ao longo dos eventos. Além do dia 17/10/12, destaca-se o evento do dia 05/12/12, um evento de intensidade média de 6,3 mm/h, com uma vazão máxima de  $3,5\text{m}^3/\text{s}$ . Assim, os valores elevados de fósforo podem ser devido à concentração da chuva na cabeceira da sub-bacia, próximo a pluviógrafo da Caesb e do Inmet, uma região menos densamente ocupada, mas com um grande número de obras. Além disso, esse dia também apresentou altas concentrações de SS.

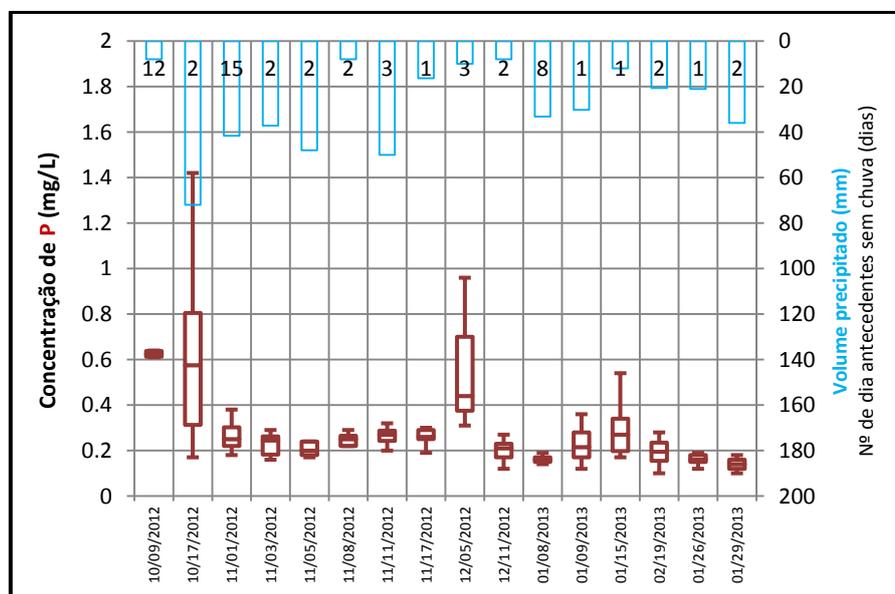


Figura 5-69. Análise do Fósforo Total em cada evento na sub-bacia do Iate.

Calculando-se o CME de cada evento (Figura 5-70), percebe-se que os maiores valores ocorreram no início do período chuvoso e diminuem até o valor de 0,15mg/L no último evento monitorado.

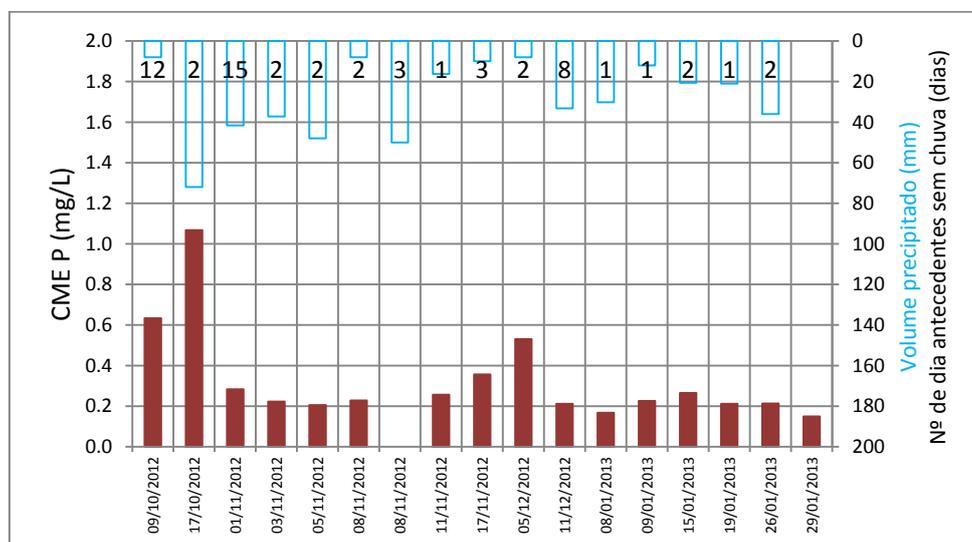


Figura 5-70. CME PT em cada evento na sub-bacia do Iate.

#### 5.4.2.6. Matéria Orgânica

As matérias de origem orgânicas encontradas nas águas são predominantemente oriundas de descargas de esgotos sanitários, os resíduos orgânicos depositados sobre o solo, como também o chorume que extravasa dos caminhões de coleta de lixo orgânico. A decomposição dessa substância libera os nutrientes.

Normalmente utilizam-se dois métodos indiretos para a medição de M.O. sendo um deles a DQO, a Demanda Química de Oxigênio, que corresponde ao consumo de oxigênio ocorrido em função da oxidação química da M.O. presente (Von Sperling, 2005). Essa variável é afetada por influências antrópicas, lançamentos industriais e domésticos, carreamento das águas pluviais e concentração de compostos orgânicos. Um valor de DQO elevado, um valor de M.O. elevado.

Na sub-bacia do C.O. o valor máximo da DQO encontrado foi de 307mg/L. Considerando que a média no esgoto bruto para o DF é de 860 mg/L (Tabela 5-8), percebe-se que o valor é alto e poderia indicar esgotos diluídos pelas águas pluviais. Na Figura 5-71 é possível avaliar o comportamento da DQO ao longo do tempo comparada

com a vazão que atravessa a galeria, e constata-se que os picos de concentração de DQO ocorrem durante vazões mais baixas.

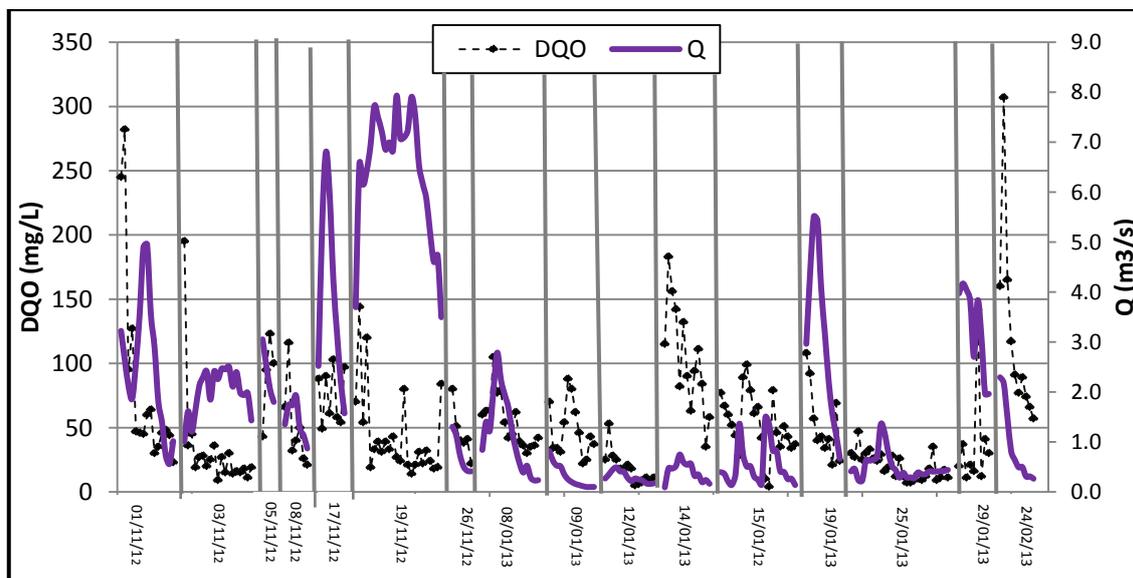


Figura 5-71. Análise da DQO ao longo do tempo na sub-bacia do C.O.

Tabela 5-21. Parâmetros estatísticos as formas de DQO na sub-bacia do C.O.

<b>PARÂMETROS ESTATÍSTICOS</b>	
<b>Média</b>	52,18
<b>Mediana</b>	39
<b>Desvio padrão</b>	45,14
<b>Intervalo</b>	303
<b>Mínimo</b>	4
<b>Máximo</b>	307
<b>Nº de amostras analisadas</b>	216

Pimentel (2009) obteve resultados contrários: os valores de DQO diminuíram durante o período chuvoso devido a diluição pelas águas pluviais, visto que os córregos canalizados que foram pesquisados pela autora recebem esgotos *in natura*. Na sub-bacia do C.O. foram encontrados valores em torno de 52,6 mg/L no período seco, que são menores do que os encontrados durante os eventos chuvosos, que sofre influência do escoamento superficial nos diferentes usos e ocupações do solo.

Um resultado importante refere-se à biodegradabilidade dessas amostras. Apesar de não ter sido realizada uma análise contínua da DBO das amostras, foram avaliadas amostras pontuais para um evento nessa sub-bacia. Para os valores de DQO no evento do dia 24/02/13 de 307 mg/L e 57 mg/L, foram encontrados DBO de 81 mg/L e 22mg/L,

respectivamente, o que mostra que uma pequena parte da matéria orgânica era biodegradável, podendo-se associar os altos valores de DQO à presença de óleos e graxas.

Na Figura 5-72 é mostrada a variação da DQO em cada evento na sub-bacia do C.O. Percebe-se que os eventos do dia 14/01/13 e do dia 24/02/13 apresentam maior variabilidade e valores bem elevados (Figura 5-73 e Figura 5-74). Os altos valores de DQO do segundo evento podem ser creditados aos 21 dias anteriores sem chuva.

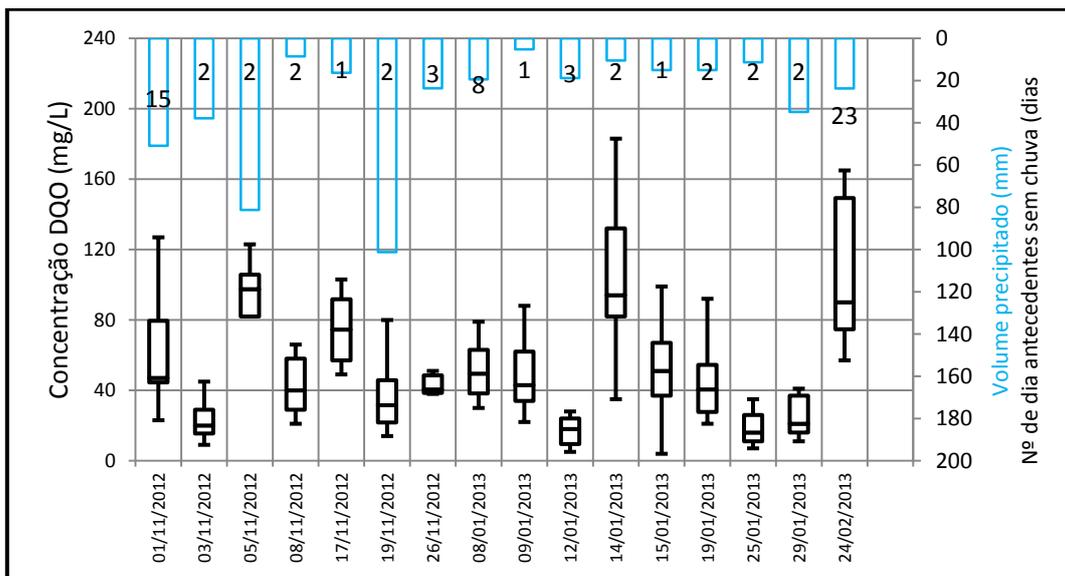


Figura 5-72. Análise da DQO em cada evento na sub-bacia do C.O.

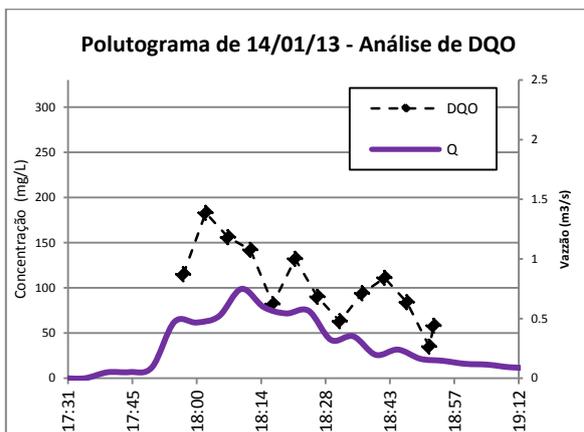


Figura 5-73. Polutograma da DQO e hidrograma no evento do dia 14/01/13 na sub-bacia do C.O.

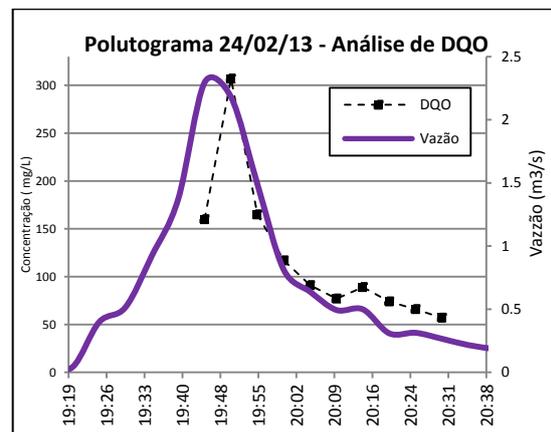


Figura 5-74. Polutograma da DQO e hidrograma no evento do dia 24/02/13 na sub-bacia do C.O.

Para a mesma bacia, Gomes (2004) encontrou valores de CME da DQO entre 35,30 e 118,29 mg/L, valores dentro da faixa encontrada e observada na Figura 5-75. Utilizando uma média ponderada dos dados obtidos por Baird e Jennings (1996) quanto ao valor do CME dos DQO esperados por uso e ocupação, obteve-se o valor de 60,25 mg/L, onde os locais que mais geram DQO corresponderiam as áreas comerciais (116 mg/L), enquanto que as áreas residenciais geram um CME de 49,5 mg/L, as ruas 59 mg/L e as áreas não ocupadas 40mg/L. O valor foi considerado coerente, visto que o valor médio do CME da DQO foi de 63,84 mg/L, um pouco maior, que pode ser explicado pela presença dos lançamentos de efluentes domésticos na galeria.

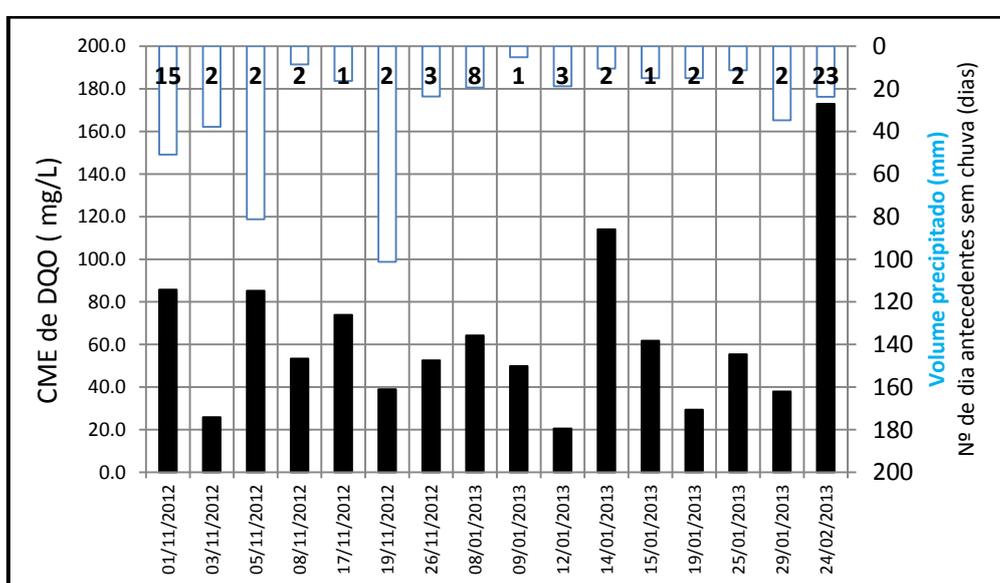


Figura 5-75. CME da DQO em cada evento na sub-bacia do C.O.

Nessa mesma sub-bacia em 2004, Gomes constatou que 78% das amostras apresentaram valores de DQO maior do que efluentes após um tratamento terciário, 25mg/L (Jordão e Pessoa, 1995). Para este monitoramento, essa porcentagem é de 81,25%.

Na sub-bacia do Iate os valores de DQO encontrados foram mais elevados do que na sub-bacia do C.O, atingindo o valor máximo de 517mg/L no evento do dia 09/10/12, 70% mais elevado. Ao longo do período monitorado é observado que a DQO apresenta picos isolados, como o caso para o evento do dia 17/11/12, com 341mg/L e do dia 08/01/13, com 461mg/L. O evento do dia 17/11/12 foi considerado um evento extremo, que gerou vazões maiores 19m<sup>3</sup>/s, que provavelmente carregou muita M.O. nesse grande volume escoado. O evento do dia 08/01/13 apresentou uma vazão de pico de 7,92 m<sup>3</sup>/s,

que não é um valor muito alto para essa sub-bacia, sendo atribuído o elevado valor da DQO aos 10 dias secos antecedentes.

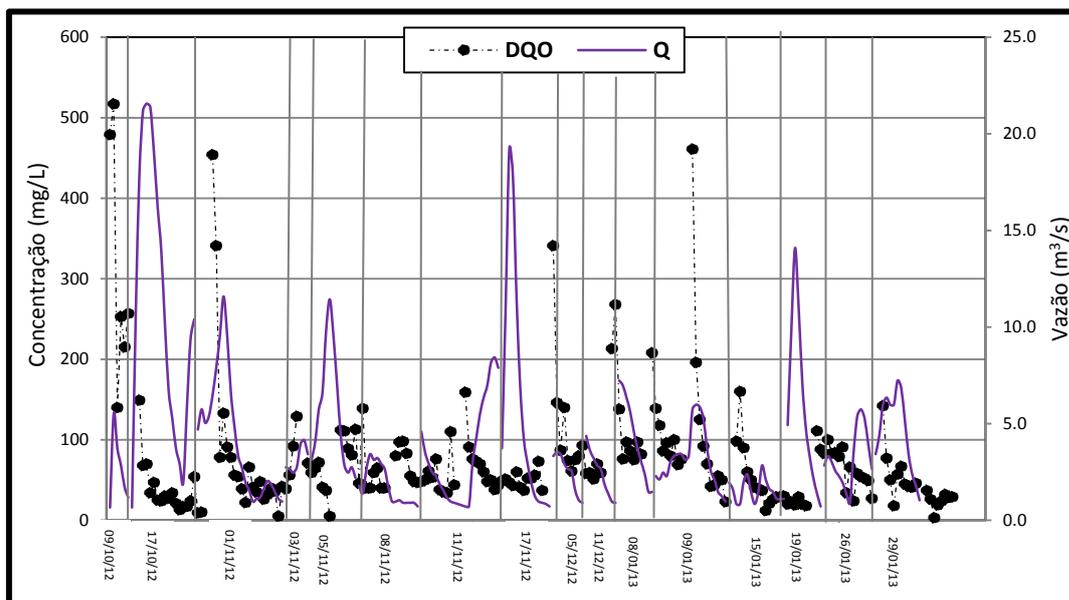


Figura 5-76. Análise da DQO ao longo do tempo na sub-bacia do Iate.

Destacando dois polutogramas de eventos importantes, pode-se observar que o pico do polutograma ocorre no início do monitoramento, para o evento do dia 09/10/12 (Figura 5-77) nos dez minutos iniciais, e no evento do dia 08/01/13, Figura 5-78, na primeira amostra, confirmando a ocorrência da carga de lavagem.

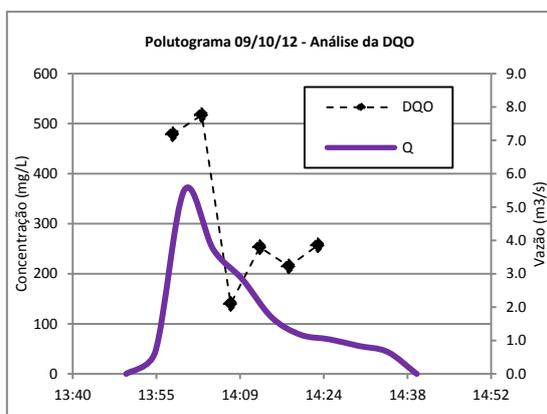


Figura 5-77. Polutograma da DQO e hidrograma no evento do dia 09/10/12 na sub-bacia do Iate

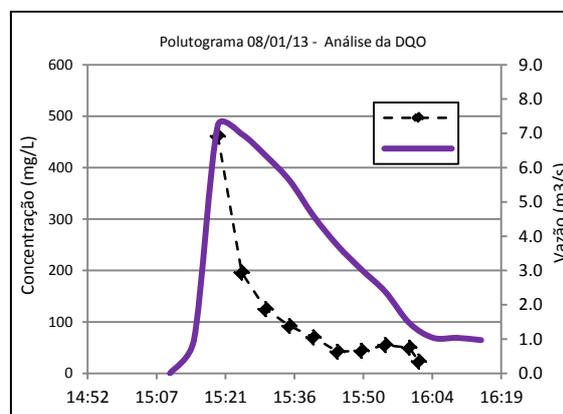


Figura 5-78. Polutograma da DQO e hidrograma no evento do dia 08/01/13 na sub-bacia do Iate

A média da DQO para essa sub-bacia foi 40% maior que a da sub-bacia do C.O. e a mediana 33% (Tabela 5-22). Na Figura 5-79 percebe-se que a heterogeneidade dos valores é elevada, tendo em vista que varia ao longo do evento, dependendo do volume do escoamento superficial e a intensidade da chuva, como também do número de dias

secos antecedentes. O valor mínimo encontrado foi de 3mg/L para o evento do dia 26/01/13, que apresentou uma vazão de pico pequena de 3,32m<sup>3</sup>/s.

Tabela 5-22. Parâmetros estatísticos as formas de DQO na sub-bacia do Iate.

<b>Análise estatística</b>	
<b>Média</b>	73,5
<b>Mediana</b>	52
<b>Desvio padrão</b>	75,2
<b>Intervalo</b>	514
<b>Mínimo</b>	3
<b>Máximo</b>	517
<b>Nº de amostras analisadas</b>	222

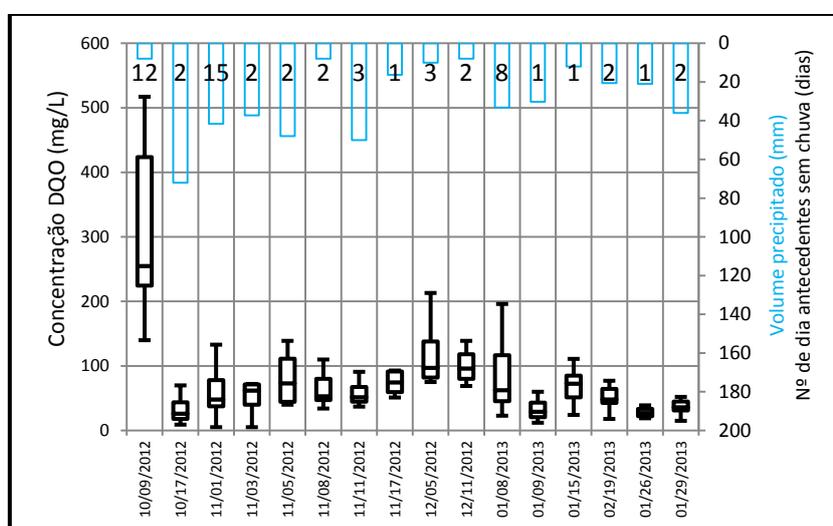


Figura 5-79. Análise da DQO por evento na sub-bacia do Iate.

Considerando a vazão e o volume escoado, também foi calculado para essa sub-bacia o valor de CME da DQO (Figura 5-80). Esse parâmetro variou de 15,70 a 324,81mg/L, tendo como média dos 17 eventos 90,71mg/L, valor elevado principalmente porque é uma sub-bacia que não apresenta grandes de esgoto, o que implica que grande parte dessa matéria orgânica é oriunda da lavagem pelo escoamento superficial do uso e ocupação do solo.

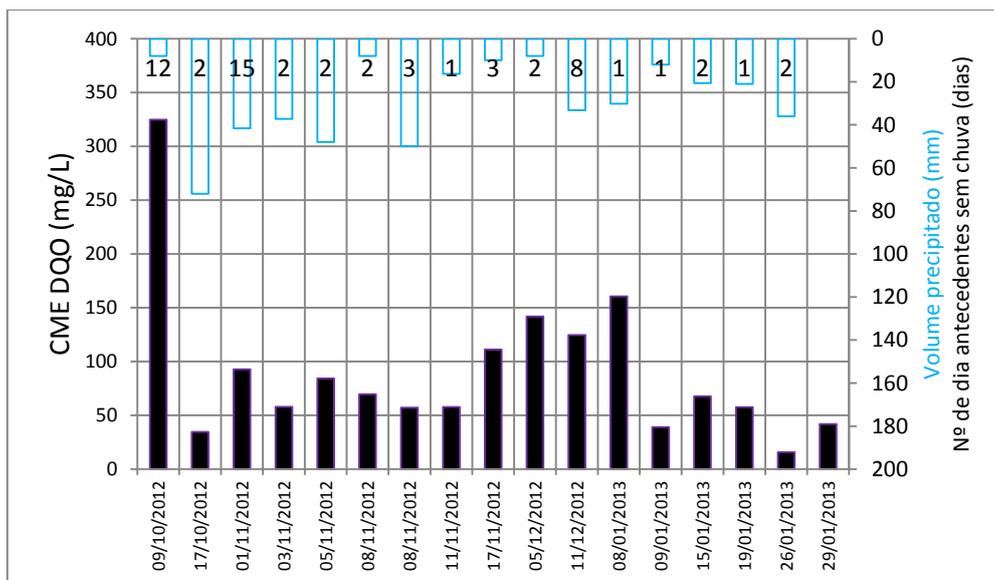


Figura 5-80. CME da DQO em cada evento na sub-bacia do Iate.

### 5.4.3. Correlação entre os parâmetros

- Turbidez x sólidos suspensos

Buscando avaliar uma futura implantação de metodologia automática com o uso de sensores de qualidade, como turbidímetros, para coletar informações acerca do transporte de sedimentos, tentou-se verificar a existência de uma correlação entre a turbidez e a concentração de sedimentos em suspensão.

Assim, organizaram-se os dados das variáveis citadas ao longo do período de monitoramento, em ambas sub-bacias, conforme pode ser observado nas Figura 5-81 e Figura 5-82. Observa-se que há uma certa correlação entre a turbidez e o SS, principalmente entre os pontos superiores e inferiores, o que é mais perceptível na sub-bacia do C.O., mas que essa análise visual não é suficiente para efetivas comprovações.

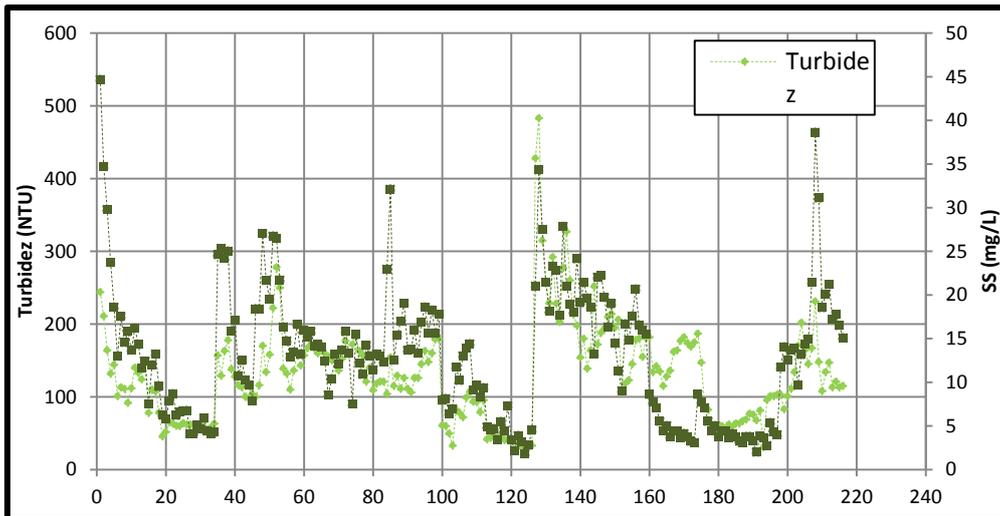


Figura 5-81. Turbidez e sólidos suspensos ao longo do tempo na sub-bacia do C.O.

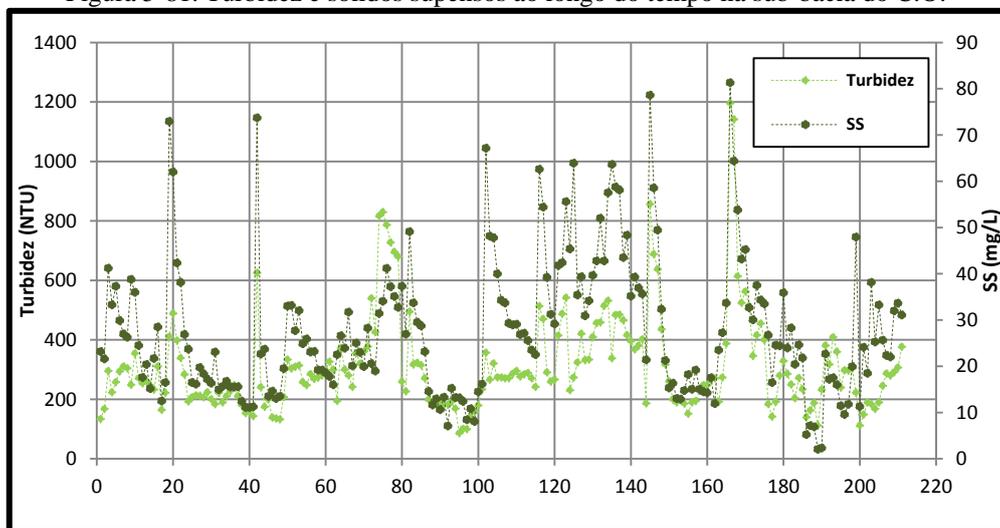


Figura 5-82. Turbidez e sólidos suspensos ao longo do tempo na sub-bacia do Iate.

Analisando eventos isolados é possível visualizar melhor o comportamento entre as variáveis. Nas Figura 5-83 e Figura 5-84 estão destacados dois eventos na sub-bacia do C.O. onde se percebe a correspondência entre a turbidez e o SS. Comportamento idêntico pode ser observado para os eventos do Iate do dia 17/11/2012 e 29/01/2013, mostrados nas Figura 5-85 e Figura 5-86, indicando que há uma correlação entre os mesmos.

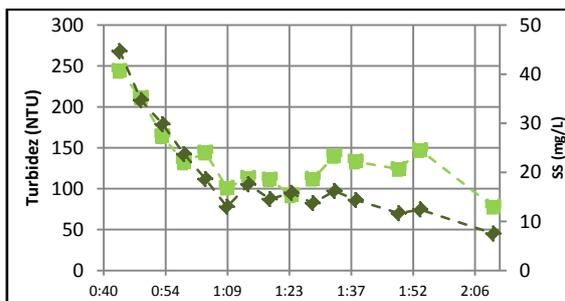


Figura 5-83. Turbidez e sólidos suspensos no evento 01/11/2012 na sub-bacia do C.O.

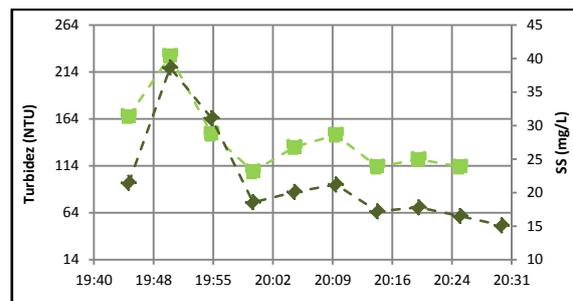


Figura 5-84. Turbidez e sólidos suspensos no evento 24/02/2013 na sub-bacia do C.O.

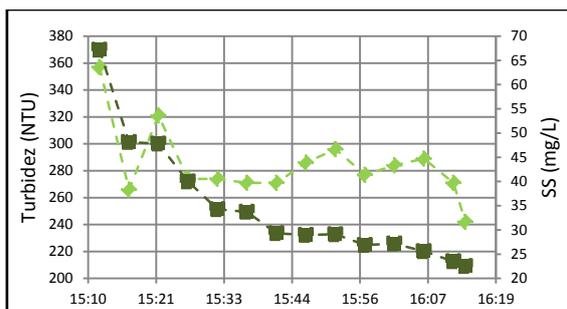


Figura 5-85. Turbidez e sólidos suspensos no evento 17/11/2012 na sub-bacia do Iate.

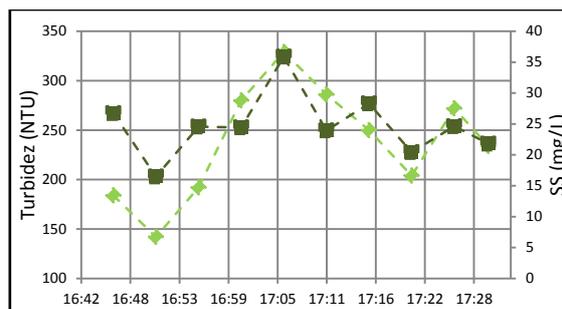


Figura 5-86. Turbidez e sólidos suspensos no evento 29/01/2013 na sub-bacia do Iate.

Calculando a correlação linear, encontrou-se o para a sub-bacia do C.O. o valor de 0,678 (Figura 5-87), enquanto que para a sub-bacia do Iate foi de 0,704 (Figura 5-88). Para a sub-bacia do Iate, selecionando apenas os valores com vazão acima de  $1\text{m}^3/\text{s}$ , o coeficiente de correlação subiu para 0,77.

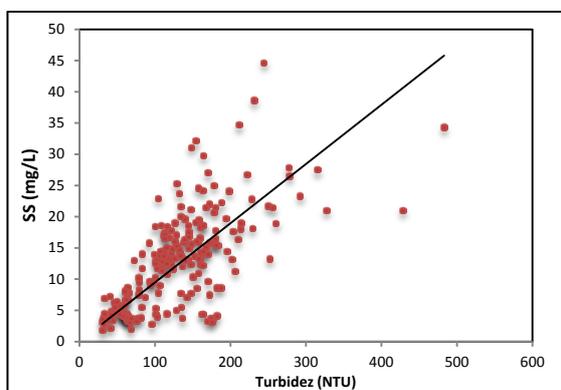


Figura 5-87. Correlação entre a Turbidez e SS na sub-bacia do C.O.

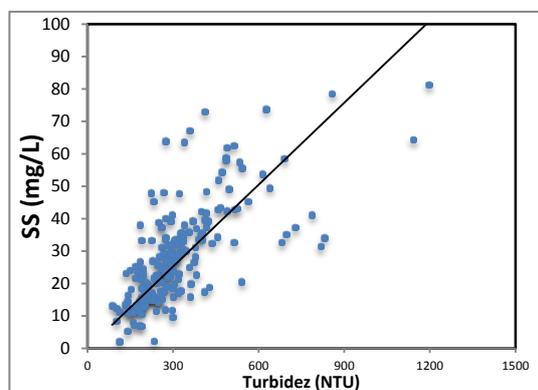


Figura 5-88. Correlação entre a Turbidez e SS na sub-bacia do Iate.

Foi analisada também a possível relação entre os SS e a vazão. Mas os resultados desse estudo demonstraram que não há forte correlação entre eles, e que a presença dos SS pode ser mais influenciada pelo número de dias secos antecedentes ou pelo local onde ocorreu a maior concentração de chuva naquela sub-bacia.

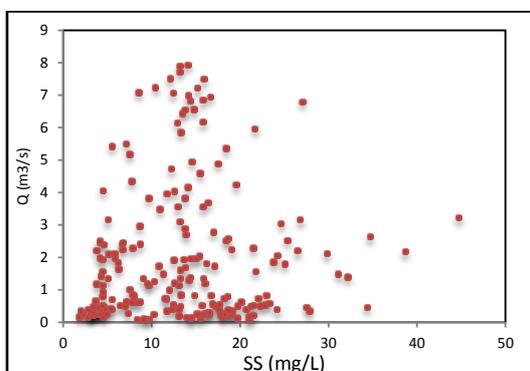


Figura 5-89. Análise dos sólidos suspensos e a vazão na sub-bacia do C.O.

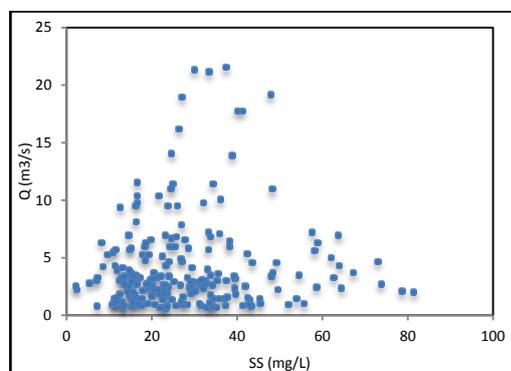


Figura 5-90. Análise dos sólidos suspensos e a vazão na sub-bacia do Iate.

- Condutividade x sólidos dissolvidos/íons

O uso de sensores para a medição da condutividade *in loco* segue os mesmo princípios da medição no laboratório, todavia facilita a aquisição dos dados sem a necessidade da coleta de amostras. Torna-se, portanto, um grande aliado na análise da qualidade da água, pois é uma forma indireta de quantificar os compostos presentes na água que permitem a passagem de eletricidade, os eletrólitos. Como exemplos dessas substâncias, pode-se citar os nutrientes sob a forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), amônia ( $\text{NH}_3^+$ ), e ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).

Assim, buscou-se uma correlação entre esses íons com a condutividade durante o monitoramento, e os resultados foram interessantes, mas não conclusivos.

Na Tabela 5-23, percebe-se que os valores de correlações no geral não foram satisfatórios. Pode-se destacar positivamente na sub-bacia do C.O os eventos dos dias 26/11/12 e 12/01/13, em que ocorreram vazões máximas de 1,3 e 0,49  $\text{m}^3/\text{s}$ , respectivamente. Na sub-bacia do Iate, dois eventos também podem ser destacados dos dias 03/11/12 e 05/12/12, com vazões máximas de 4,15 e 3,5  $\text{m}^3/\text{s}$ , também consideradas baixas para essa sub-bacia.

Tabela 5-23. Dados da correlação na sub-bacia do C.O e na do Iate.

<b>C.O.</b>			<b>IATE</b>		
<b>Evento</b>	Cond.xSD	SDxNutr.	Evento	Cond.x SD	SD x Nutr.
<b>01/11/2012</b>	0,507	0,5065	09/10/2012	0,1422	0,045
<b>03/11/2012</b>	0,31	0,4528	17/10/2012	0,3575	0,1486
<b>05/11/2012</b>	-0,92	-0,34	01/11/2012	0,2845	0,2535
<b>17/11/2012</b>	0,522	-0,0005	03/11/2012	0,565	0,610
<b>19/11/2012</b>	0,424	0,05	05/11/2012	0,2666	0,5126
<b>26/11/2012</b>	0,6	0,972	08/11/2012	0,354	0,375
<b>08/01/2013</b>	0,325	-0,319	11/11/2012	-0,4514	-0,3066
<b>09/01/2013</b>	0,402	0,06311	17/11/2012	-0,155	-0,3901
<b>12/01/2013</b>	0,61	0,588	05/12/2012	0,535	0,559
<b>14/01/2013</b>	0,0114	0,3	08/01/2013	0,364	0,558
<b>15/01/2013</b>	0,8735	-0,24	09/01/2013	0,06	0,123
<b>19/01/2013</b>	0,703	0,578	15/01/2013	0,159	0,539
<b>25/01/2013</b>	0,1443	-0,2	19/01/2013	0,2139	0,084
<b>29/01/2013</b>	-0,15	-0,21	26/01/2013	-0,035	-0,26
<b>24/02/2013</b>	0,15	-0,013	29/01/2013	-0,569	0,4741

Sabe-se que nas menores cheias, há a tendência de carreamentos sem muita diluição. Nas vazões mais elevadas, há maior volume de escoamento urbano, o que pode reduzir as concentrações de SD.

Na Figura 5-91 e na Figura 5-92, foram plotados os dados desses parâmetros (condutividade x SD e SD x nutrientes) no evento do dia 12/01/2013 na sub-bacia do C.O. e do evento do dia 03/11/12 na sub-bacia do Iate, que correspondem aos bons exemplos de correlação. Percebe-se que as tendências entre as duas linhas não são tão sincronizadas o que explica a correlação razoável.

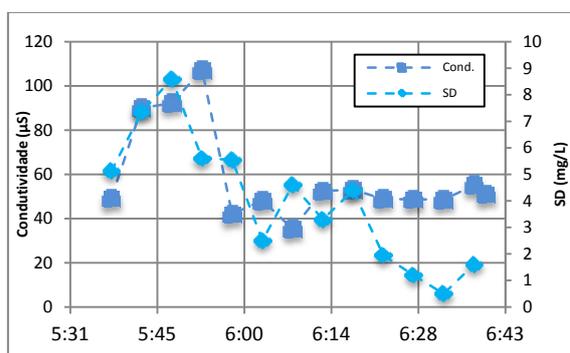


Figura 5-91. Condutividade e Sólidos Dissolvidos no evento 12/01/2013 na sub-bacia do C.O.

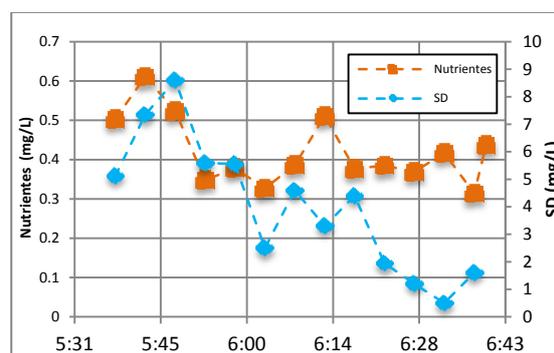


Figura 5-92. Sólidos Dissolvidos e Nutrientes no evento 12/01/2013 na sub-bacia do C.O.

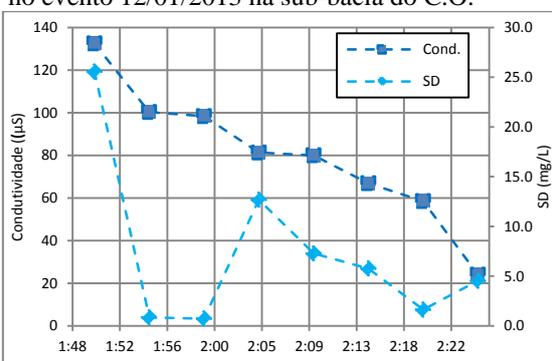


Figura 5-93. Condutividade e Sólidos Dissolvidos no evento 03/11/12 na sub-bacia do Iate

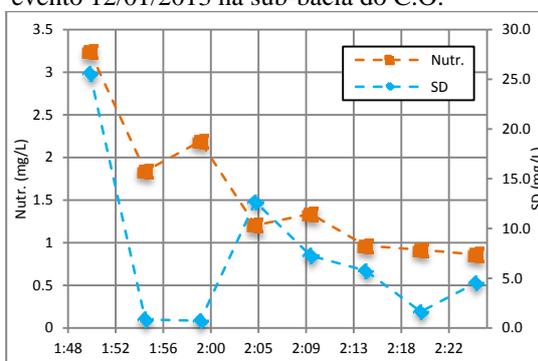


Figura 5-94. Sólidos Dissolvidos e Nutrientes no evento 03/11/12 na sub-bacia do Iate

Portanto, nesse tipo de estudo, o uso do condutímetro não fornece boas correlações, visto que sua utilidade ficaria restrita a eventos com vazões baixas, ignorando a maior parte dos eventos de chuvas ocorridos nessas sub-bacias.

Testou-se também a relação da condutividade diretamente com nutrientes, somando as concentrações de N e P presentes nas amostras. As correlações valores de  $R^2$  encontradas foram relativamente boas (Tabela 5-24), principalmente na sub-bacia do Iate, onde somente três valores das correlações foram insatisfatório como os eventos dos

dias 01/11/2012 e 08/01/2013 que tiveram o número de dias antecedentes sem chuva elevados, maiores que sete dias. Porém se questionou a validade desses dados, pois durante o monitoramento não foi medido o cloreto presentes nas amostras e sabe-se que o mesmo está associado à presença de esgoto e do chorume do lixo.

Tabela 5-24. Dados da correlação condutividade x nutrientes na sub-bacia do C.O e na do Iate.

C.O.		IATE	
Evento	Cond. X Nutrientes	Evento	Cond. X Nutrientes
01/11/2012	0,83	09/10/2012	0,93
03/11/2012	0,23	17/10/2012	0,76
05/11/2012	0,13	01/11/2012	0,14
08/11/2012	0,86	03/11/2012	0,89
17/11/2012	-0,07	05/11/2012	0,70
19/11/2012	0,35	08/11/2012	-0,18
26/11/2012	0,83	11/11/2012	0,78
08/01/2013	0,51	17/11/2012	0,89
09/01/2013	0,79	05/12/2012	0,96
12/01/2013	0,36	11/12/2012	0,70
14/01/2013	0,77	08/01/2013	0,89
15/01/2013	-0,13	09/01/2013	0,92
19/01/2013	0,79	15/01/2013	0,59
25/01/2013	0,75	19/01/2013	0,41
29/01/2013	0,37	26/01/2013	0,79
24/02/2013	0,28	29/01/2013	0,05

Na Figura 5-95 e Figura 5-96 são mostrados dois exemplos que levaram a correlações elevadas em cada sub-bacia. O evento do dia 26/11/12 na sub-bacia do C.O., com coeficiente de 0,83 e na sub-bacia do Iate, no dia 05/12/12, com 0,71. Em ambos os gráfico percebe-se que as tendências de crescimento e decaimento entre os parâmetros são a mesma.

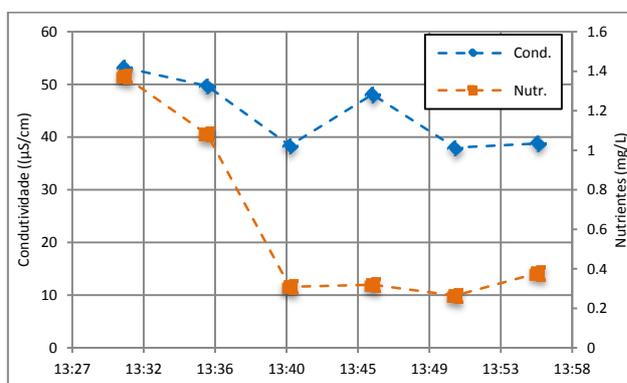


Figura 5-95. Condutividade e Nutrientes no evento 26/11/12 na sub-bacia do C.O.

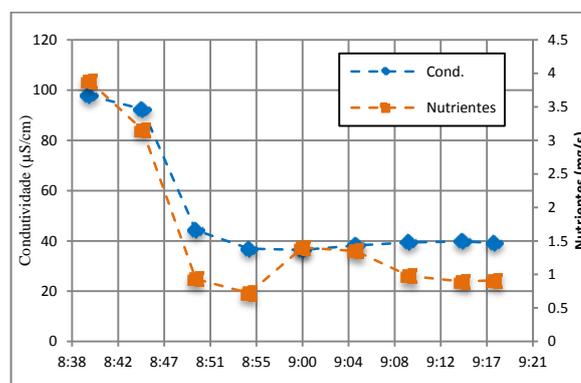


Figura 5-96. Condutividade e Nutrientes no evento 05/12/12 na sub-bacia do Iate.

Para que os resultados não sejam interpretados erroneamente, sugere-se a adição do cloreto como parâmetro de análise no próximo monitoramento, para que então se estude a possibilidade do uso do condutivímetro como medida indireta dos nutrientes. Pois se confirmado essa relação, é uma poderosa ferramenta para o monitoramento.

Com os dados atuais, só seria possível concluir que a utilização do condutivímetro serviria para identificar a contaminação das águas por ligações clandestinas de esgotos nas redes de drenagem pluvial, o que já seria uma informação importante.

### **5.5. ANÁLISE DAS CARGAS DE POLUIÇÃO GERADAS**

A qualidade das águas do escoamento superficial urbano tende a ser bastante variável, dependendo de fatores como a chuva antecedente, intensidade da chuva e o volume escoado, como também o uso e ocupação do solo, as fontes dos poluentes, que alteram as taxas de acumulação e lavagem dos poluentes, como também as características da bacia hidrográfica como área, declividade, impermeabilidade (Porto, 1995; Zoppou, 2001; Zhang, 2007; Hatt *et al.*, 2004). Consequentemente, esses fenômenos são complexos, sendo de difícil análise a distribuição temporal dos poluentes com as vazões observadas durante um simples evento hidrológico ou em diferentes eventos.

A seguir serão expostos os resultados de análise das cargas de poluição geradas durante os eventos chuvosos para cada sub-bacia monitorada.

Com esse estudo é possível verificar as condições de qualidade que as águas de drenagem pluviais se encontram ao atingir o copo receptor, e assim considerar quais as melhores medidas a fim de conter esse tipo de poluição no futuro manancial do DF, evitando a eutrofização e assoreamento do mesmo.

Nesta etapa também foram confeccionadas as curvas M(V) para determinados poluentes nos eventos mais significativos de cada variável a fim de averiguar a existência ou não do fenômeno “*first flush*” nos eventos monitorados. Essa análise permite uma visão da provável eficiência da implementação de medidas estruturais nas sub-bacias, como a construção de bacias de detenção.

### **5.5.1. Cargas de poluentes na sub-bacia do C.O.**

Na sub-bacia do C.O. foram monitorados 17 eventos, com variável número de amostras, entre 6 e 24 garrafas por evento, ao longo de 4 meses, sendo possível assim realizar uma análise temporal dessas cargas ao longo do período chuvoso. Os dados estão organizados na Tabela 5-25.

Tabela 5-25. Cargas de todos os poluentes em cada evento na sub-bacia do C.O.

Eventos	Carga (kg/ha/dia)										
	NO <sub>3</sub> - N	NO <sub>2</sub> -N	NH <sub>3</sub>	N	PT	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	Nutrientes	ST	SD	SS	DQO
<b>01/11/2012</b>	0,660	0,013	0,257	0,930	0,103	0,039	1,007	8,786	0,708	8,102	35,030
<b>03/11/2012</b>	0,120	0,004	0,035	0,159	0,046	0,016	0,205	3,711	1,781	1,931	8,144
<b>05/11/2012</b>	0,401	0,005	0,143	0,549	0,128	0,036	0,678	14,062	4,746	9,316	32,026
<b>08/11/2012</b>	0,169	0,003	0,033	0,206	0,068	0,024	0,274	4,106	1,854	2,837	12,170
<b>17/11/2012</b>	0,269	0,022	0,088	0,379	0,181	0,098	0,560	16,684	2,397	14,287	46,802
<b>19/11/2012</b>	1,346	0,014	0,259	1,620	0,284	0,026	1,904	18,122	4,744	13,378	39,831
<b>26/11/2012</b>	0,063	0,001	0,024	0,090	0,026	0,008	0,098	0,125	2,201	0,634	6,299
<b>08/01/2013</b>	0,023	0,004	0,039	0,066	0,062	0,017	0,196	2,909	0,751	3,181	11,795
<b>09/01/2013</b>	0,010	0,002	0,026	0,047	0,010	0,004	0,057	0,594	0,159	0,435	2,419
<b>12/01/2013</b>	0,002	0,001	0,007	0,009	0,011	0,008	0,020	0,217	0,207	0,198	0,964
<b>14/01/2013</b>	0,007	0,002	0,032	0,041	0,024	0,012	0,065	1,894	0,490	1,403	7,443
<b>15/01/2013</b>	0,007	0,002	0,028	0,037	0,021	0,009	0,058	1,478	0,204	1,303	4,342
<b>15/01/2013</b>	0,010	0,004	0,027	0,041	0,019	0,009	0,060	2,206	0,834	1,371	3,041
<b>19/01/2013</b>	0,047	0,009	0,071	0,127	0,078	0,051	0,205	8,259	2,802	2,159	20,397
<b>29/01/2013</b>	0,025	0,003	0,063	0,091	0,098	0,021	0,189	18,879	12,130	6,750	19,855
<b>24/02/2013</b>	0,016	0,006	0,045	0,067	0,036	0,012	0,103	5,924	1,726	4,198	27,607

Nessa tabela, percebe-se que as cargas decrescem ao longo do tempo, sendo maiores no início do período chuvoso e menores ao final dessa estação. Alguns eventos apresentaram-se diferente desse padrão, como o do dia 17/11/12, quando houve significativo lançamento de nutrientes, M.O. e sólidos. Nesse evento, essa discrepância pode ser associada à espacialidade da chuva (Figura 5-96/Figura 5-97), pois a precipitação foi bastante concentrada no final da sub-bacia, com uma grande intensidade (76,86mm/h) no pluviógrafo do SG-12, em uma região de áreas verdes e solo exposto, que, apesar de ser uma área mais permeável, apresentou uma vazão de pico significativa, em torno de  $6,8\text{m}^3/\text{s}$ .

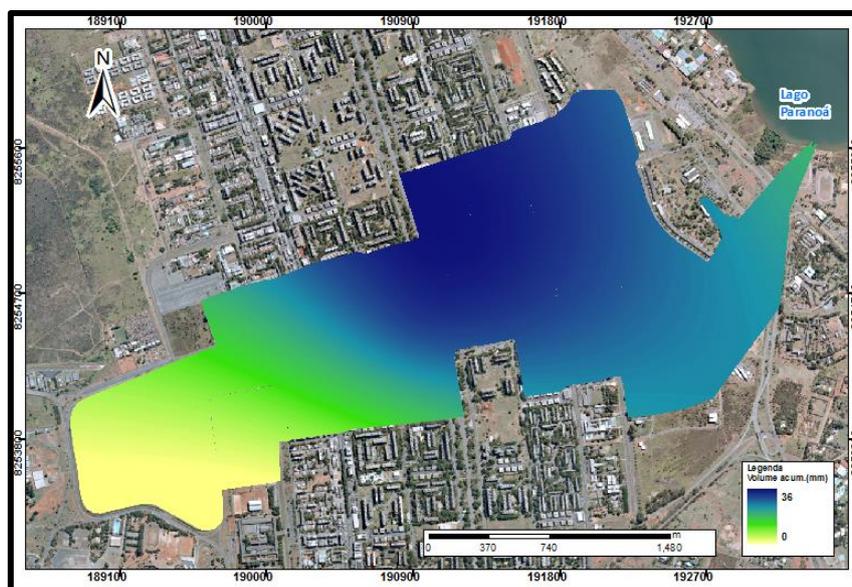


Figura 5-97. Análise espacial da precipitação do evento do dia 17/11/12.

Para uma melhor visualização dos dados, foi elaborado o gráfico da Figura 5-98, onde estão distribuídos para os eventos os dados das cargas geradas de nutrientes (N e P), SS e DQO. Neste gráfico é possível perceber que o valor máximo das cargas dos poluentes foi encontrado no dia 19/11/12, durante o evento mais extremo registrado nessa sub-bacia. Outro destaque é para o evento do dia 01/11/12, que apresenta valores de cargas consideráveis, devido ao fato de ser um evento no início do período de chuva, ou seja, ainda havia muitos poluentes acumulados desde a época seca que ainda não haviam sido lavados pelos eventos chuvosos. Além disso, nesse evento foi registrado um volume escoado de  $11.557\text{m}^3$ .

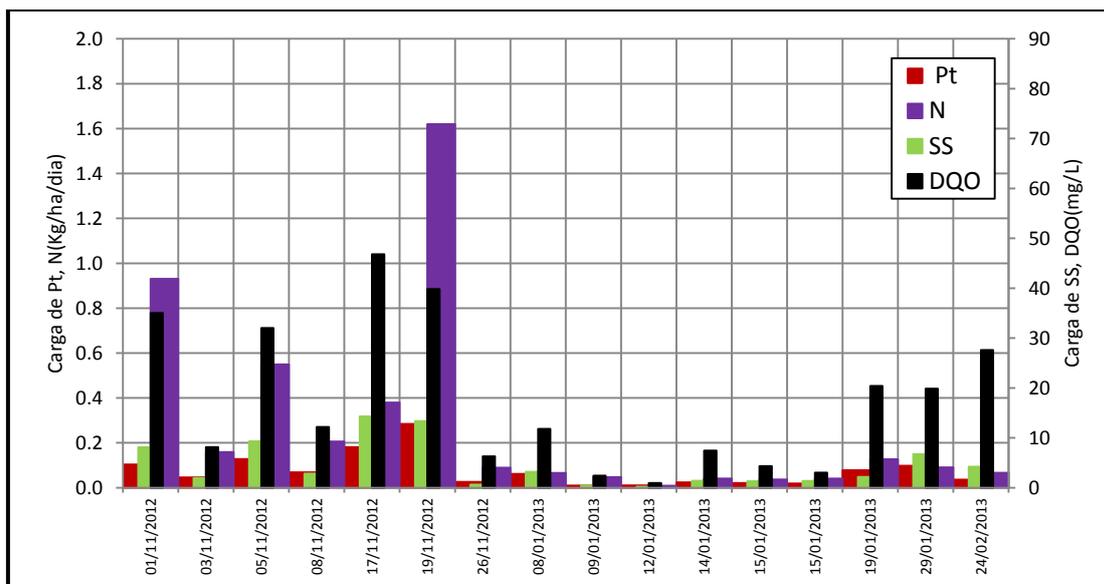


Figura 5-98. Cargas de PT, SS, N e DQO que aportaram no Lago Paranoá em cada evento na sub-bacia do C.O.

Os SS para a sub-bacia do C.O apresentaram uma média de 4,47Kg/ha/dia, variando de 0,2 a 14,3, valor que pode ser considerado alto, visto que é uma sub-bacia já consolidada, sem movimentação de terra recente pela presença de muitas construções, sendo as prováveis fontes os resíduos sólidos e a erosão das áreas permeáveis e dos resíduos acumulados nas áreas impermeáveis.

Brites e Gastaldini (2005) encontraram um valor bastante parecido para uma sub-bacia do Arroio Cancela,  $A=4,95 \text{ km}^2$ , com 56% do uso e ocupação da área urbanizada, que foi de  $1685,8 \text{ kg/ha/ano} = 4,61 \text{ kg/ha/dia}$ , descontado o valor correspondente à vazão de base a fim de caracterizar a carga difusa do SS nos eventos chuvosos. O valor é considerado alto e é associado aos desmoronamentos da calha do rio, fato que não ocorre na sub-bacia do C.O. visto que é um canal artificial, alarmando ainda mais sobre os resultados obtidos.

Na literatura internacional é complicado encontrar informações sobre as características de qualidade dessas águas porque as maiorias dos países desenvolvidos utilizam do sistema de esgotamento sanitário unitário.

Como a sub-bacia é localizada na Asa Norte, compararam esses resultados, com as cargas lançadas pela Estação de Tratamento que recebe as águas residuárias dessa região administrativa. Nota-se que no mês de novembro, a carga de DQO liberada nessa galeria, corresponde a 31,3% da carga do efluente (esgoto tratado), de fósforo, 15,5% e

de SS 27,4. Quando aos dados são comparados ao esgoto bruto, a DQO refere-se a apenas 2,4%. Enfatiza-se que a bacia do C.O. mede 5,43Km<sup>2</sup>, sendo considerada pequena, por isso é importante a comparação para toda a porção Norte da Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá.

Tabela 5-26. Cargas do afluente e efluente da ETE Norte para o mês de novembro e cargas da sub-bacia do C.O.

	<b>DQO</b>	<b>P</b>	<b>N</b>	<b>SS</b>
<b>W ETE eflu.(kg/mês)</b>	45337,7	401,2	12571,5	12972,72
<b>W ETE aflu.(kg/mês)</b>	587116,0	7756,9	69410,7	236718,7
<b>W C.O. (kg/mês)</b>	14193,1	62,1	274,9	3554,8

Tabela 5-27. Comparação entre as cargas no mês de novembro.

	<b>Varáveis</b>	<b>% efluente</b>	<b>% afluente</b>
<b>W C.O. (kg/mês)</b>	<b>DQO</b>	31,3	2,4
	<b>P</b>	15,5	0,8
	<b>N</b>	2,2	0,4
	<b>SS</b>	27,4	1,5

Considerando a bacia de contribuição da Asa Norte, 26,47Km<sup>2</sup>, com as mesmas características dessa sub-bacia (uso e ocupação do solo e chuva-vazão) as cargas geradas de DQO seriam 152,6% maiores do que a lançada pela ETE no mesmo mês.

Fazendo a mesma análise para o mês de janeiro, percebe-se que a carga de fosforo para esse mês lançada pela galeria de drenagem do C.O. corresponderia a 91% de todo o fósforo despejado pela ETE Norte e 74,3% dos SS. Lembra-se que esses valores correspondem a somente uma galeria que aporta no lago.

Tabela 5-28. Comparação entre as cargas no mês de janeiro

	<b>Varáveis</b>	<b>% efluente</b>	<b>% afluente</b>
<b>W C.O. (kg/mês)</b>	<b>DQO</b>	46,8	4,7
	<b>P</b>	91,0	1,7
	<b>N</b>	2,9	0,3
	<b>SS</b>	74,3	1,8

Destaca-se que os SS comparados são de origens diferentes, pois, os lançados pela ETE são de origem orgânica, e os presentes na galeria de águas pluviais são de origem siltosa. Ou seja, o primeiro irá aumentar no Lago a concentração de matéria orgânica, enquanto que o segundo tipo de SS irá se depositar no fundo do lago contribuindo para o assoreamento.

Os dados de comparação do N foram prejudicados, visto que a CAESB analisa o NKT (Nitrogênio Kjeldahl Total), considerando a parcela de N orgânico transformado em amônia, enquanto que os dados monitorados foram referentes ao nitrato, nitrito e amônia.

A instalação de dispositivos de controle para melhorar a qualidade das águas das galerias pode ser uma boa alternativa. Eles assumem o papel de interceptar e amortecer as flutuações das concentrações e das cargas, por conseguinte, melhora a qualidade das águas de lançamento e das águas receptoras. Podem ser proporcionados por meio da infiltração, filtração e retenção.

Sabe-se que na cidade de Brasília, a Novacap estuda a possibilidade de implantação de bacias de retenção para atenuação de carga desses poluentes e com isso melhorar a qualidade dessas águas, fornecendo um pré-tratamento, antes que atinjam o Lago Paranoá. Mas para obter relativa eficiência no uso dessas estruturas é necessário analisar o “*first flush*” dessas águas. Pois as bacias terão uma capacidade limitada e somente acumularão uma determinada quantidade de águas pluviais.

O “*first flush*” corresponde ao período inicial do escoamento no qual a concentração de poluentes são as mais elevadas. Assim, caso essa carga de lavagem se verifique, grande parte da carga poluidora estará contida no volume inicial durante o evento. O estudo de Lee *et al.* (2001) detectou que tal fenômeno é mais evidente quanto menor a bacia.

Para tal análise, foram elaboradas as curvas M(V) dos nutrientes, DQO e SS nos eventos de maiores lançamentos de cargas. Quando a curva M(V) do evento estudado estiver acima da reta bissetriz do gráfico, confirma-se a ocorrência do “*first flush*”. Quando a curva M(V) do evento estudado estiver abaixo do bissetor do gráfico (linha reta vermelha), é porque não ocorreu o “*first flush*”.

Na Figura 5-99 pode-se observar que 3 dos 5 eventos plotados apresentaram o fenômeno do “*first flush*”, sendo os dos dias 01/11/12 e 24/02/13 os mais significativos, pois se houvesse uma retenção de 30% do volume inicial desses eventos, cerca de 60% e 80%, respectivamente, das cargas de poluentes seria interceptada. O evento do dia

08/11/12 e 29/01/13 não mostraram esse efeito, talvez pelo fato de que ocorreram precipitações significativas nas 48 horas antecedentes aos eventos, de 50 e 30mm em cada um. Nos dois eventos que ocorreram o fenômeno não houve precipitação antecedente por mais de 10 dias.

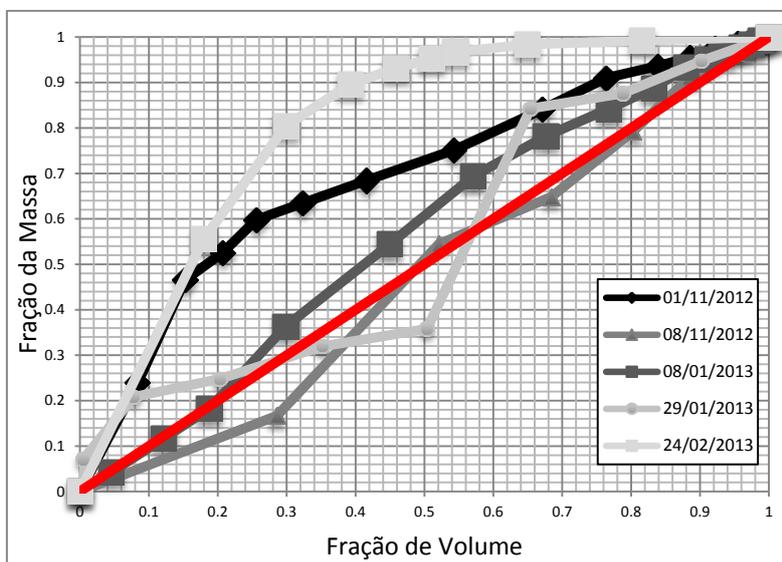


Figura 5-99. Curva M(V) da DQO dos eventos na sub-bacia do C.O.

Bertrand-Krajewski *et al.* (1998) em suas análises em sistema de separador absoluto encontrou que em 80% da massa total dos poluentes são transportadas nos primeiros 74% do volume do escoamento superficial em 50% dos eventos analisados. Fato que se confirma em 80% dos eventos analisados na sub-bacia do C.O. (4 dos 5 analisados), onde o único evento que ficou abaixo desse valor, corresponde a 70% da massa.

Comportamento semelhante foi encontrado na curva do P com o da curva da DQO (Figura 5-100), havendo somente uma inversão na carga transportada pelos eventos ocorridos nos dias 01/11/12 e 29/01/13.

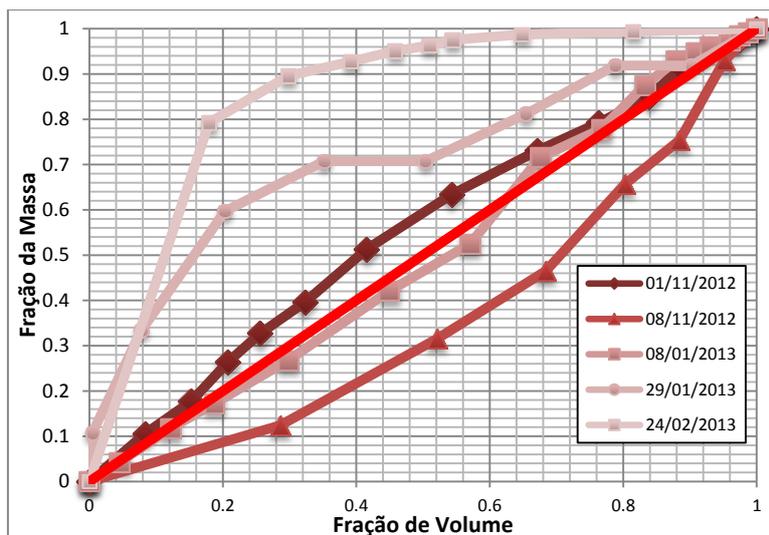


Figura 5-100. Curva M(V) do P dos eventos na sub-bacia do C.O.

Foram confeccionadas também as curvas M(V) na sub-bacia do C.O. de SS (Figura 5-101) e N (Figura 5-102). Nas curvas de SS e de N, somente um evento não apresentou o fenômeno. Nessa sub-bacia se fossem retidos nos 20% do volume inicial no evento do dia 24/02/13 mais de 70% dos SS e N não seriam lançados no Lago Paranoá.

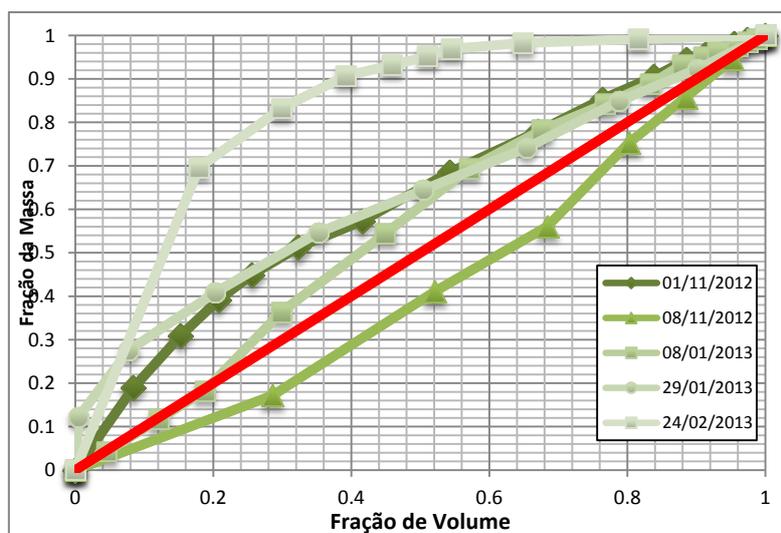


Figura 5-101. Curva M(V) do SS dos eventos na sub-bacia do C.O.

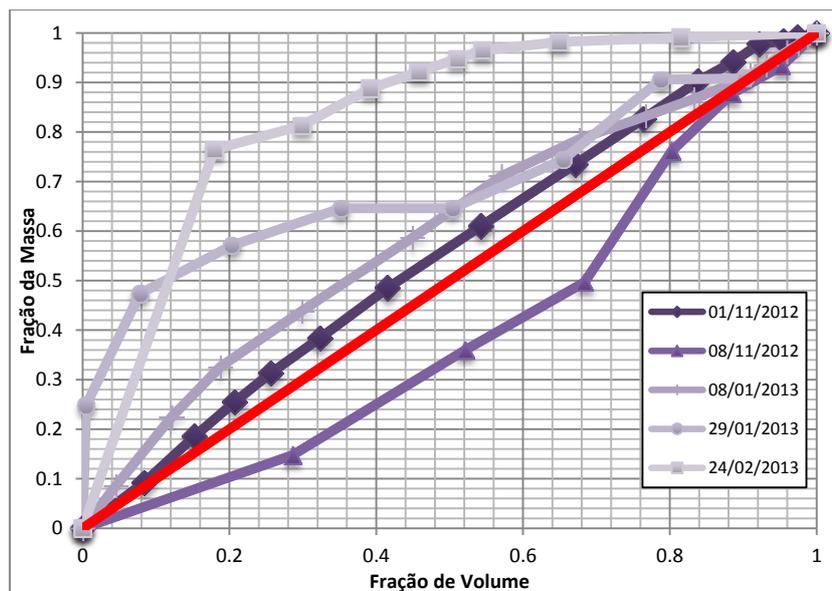


Figura 5-102. Curva M(V) do N dos eventos na sub-bacia do C.O.

Ao contrário do analisado por Lee *et al.* (2001) sobre “*first flush*”, na sub-bacia do C.O. foi identificada uma relação entre esse processo e os dias antecedentes de chuvas, pois no evento do dia 24/02/13 foram 21 dias antecedentes sem chuva, e no evento do dia 08/11/12 foram apenas 2 dias, que teve apenas 15% da massa do N carregada nos primeiros 30% do volume escoado.

### 5.5.2. Cargas de poluentes na sub-bacia do Iate

A mesma análise de cargas foi realizada na sub-bacia do Iate, onde num total de 17 eventos foram calculadas as cargas que aportaram no lago Paranoá e como ocorreu a distribuição da massa x volume dos poluentes por meio das curvas M(V).

Comparando com os dados da primeira sub-bacia apresentada, a galeria do Iate descarrega mais poluentes no Lago Paranoá. Esse fato pode ser atribuído a uma maior vazão encontrada nessa galeria, pico de até 21m<sup>3</sup>/s, por cobrir um sistema de drenagem com área maior, superior em 70%, e por ser uma região com inúmeras obras em desenvolvimento.

Os dados das cargas foram organizados na Tabela 5-29 abaixo e na Figura 5-103.

Tabela 5-29. Cargas de cada poluentes em cada evento na sub-bacia do Iate.

Eventos	Carga (kg/ha/dia)										
	NO <sub>3</sub> - N	NO <sub>2</sub> -N	NH <sup>+</sup> <sub>3</sub>	N	PT	PO <sup>-3</sup> <sub>4</sub>	Nutr.	ST	SD	SS	DQO
<b>09/10/2012</b>	0,438	0,063	0,557	1,058	0,159	0,075	1,217	13,230	6,682	6,548	81,811
<b>17/10/2012</b>	1,264	0,019	0,589	1,872	1,140	0,456	3,012	34,783	4,081	31,444	36,898
<b>01/11/2012</b>	0,544	0,011	0,211	0,766	0,113	0,032	0,879	12,924	2,942	9,981	37,126
<b>03/11/2012</b>	0,236	0,009	0,142	0,387	0,068	0,023	0,455	9,178	2,195	6,982	17,697
<b>05/11/2012</b>	0,097	0,008	0,116	0,222	0,108	0,032	0,329	21,157	7,470	13,686	44,296
<b>08/11/2012</b>	0,012	0,003	0,038	0,053	0,054	0,027	0,107	8,171	2,323	5,848	16,528
<b>08/11/2012</b>	0,009	0,001	0,017	0,027	-	-	-	4,903	1,686	3,060	4,949
<b>11/11/2012</b>	0,022	0,004	0,083	0,108	0,086	0,026	0,195	8,820	2,872	5,947	19,477
<b>17/11/2012</b>	0,035	0,010	0,275	0,295	0,222	0,114	0,501	25,446	1,831	23,615	64,364
<b>05/12/2012</b>	0,019	0,007	0,278	0,304	0,126	0,039	0,430	12,281	1,735	10,546	33,635
<b>11/12/2012</b>	0,029	0,014	0,284	0,327	0,050	0,016	0,377	-	-	10,094	29,270
<b>08/01/2013</b>	0,032	0,017	0,125	0,175	0,070	0,042	0,238	26,601	6,033	21,436	66,645
<b>09/01/2013</b>	0,024	0,003	0,024	0,050	0,070	0,031	0,120	9,367	2,487	6,487	12,040
<b>15/01/2013</b>	0,013	0,002	0,025	0,040	0,040	0,017	0,080	6,848	1,264	5,585	10,144
<b>19/01/2013</b>	0,053	0,012	0,063	0,129	0,122	0,072	0,250	14,630	1,355	14,186	33,025
<b>26/01/2013</b>	0,009	0,004	0,007	0,052	0,066	0,045	0,045	2,719	4,552	2,170	4,865
<b>29/01/2013</b>	0,014	0,003	0,042	0,058	0,067	0,024	0,125	12,554	2,520	12,140	18,710

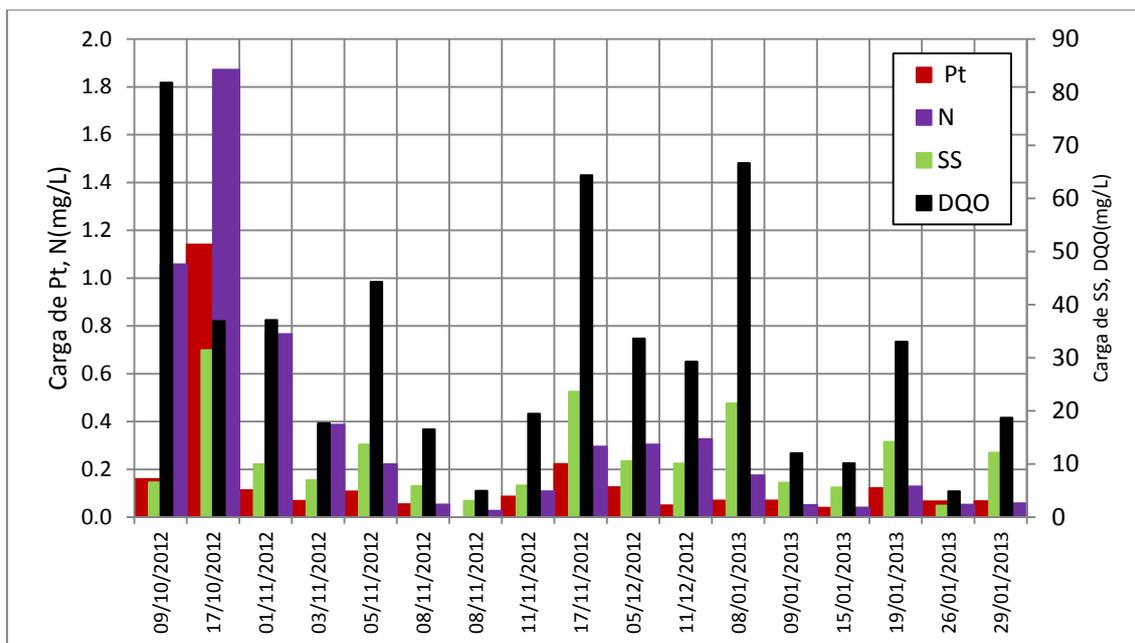


Figura 5-103. Cargas de Pt, SS, N e DQO que aportaram no Lago Paranoá em cada evento na sub-bacia do Iate.

Na tabela anterior, percebe-se que os maiores valores das cargas são atribuídos as cargas de matéria orgânica medida por meio da DQO, em que se observaram os valores de cargas de até 81,81 kg/ha/dia para o terceiro evento chuvoso monitorado, 09/10/12.

Desconsiderando a DQO, o evento que mais se destaca é o do dia 17/10/12, que também corresponde ao evento de maior vazão de pico. Durante esse evento foram lançados mais de 31 kg/ha/dia de sólidos suspensos, e 3 kg/ha/dia de nutrientes. Nenhum outro evento lançou tanto fósforo como esse.

Desconsiderando esse evento extremo, ocorreu outro que também se destaca pela quantidade excessiva da carga lançada. O evento do dia 17/11/12 apresentou uma grande vazão de pico de 19,19 m<sup>3</sup>/s e um volume escoado de mais de 25 mil m<sup>3</sup>. Já o evento do dia 08/01/13 não apresentou vazões tão elevadas, 7,23m<sup>3</sup>/s de vazão de pico, mas apresentou altas cargas, fato que pode ser atribuído ao período seco antecedente, equivalente a 8 dias.

A média das cargas de SS lançadas foi de 11,162 kg/ha/dia, aproximadamente 2,5 vezes maior que a da sub-bacia do C.O. Esse fato já foi comentado, visto que é uma sub-bacia que apresenta grande movimentação de terra com a construção de hotéis para a Copa do Mundo, novos prédios comerciais, clínicas médicas e edifícios sedes para autarquias.

Comparando as cargas dessa sub-bacia com as cargas lançadas também com a ETE Norte, obteve-se os resultados na Tabela 5-30.

Tabela 5-30. Comparação entre as cargas da sub-bacia do Iate com o afluente e efluente da ETE Norte, nos meses de janeiro e novembro.

Varáveis	Novembro		Janeiro	
	% efluente	% afluente	% efluente	% afluente
<b>DQO</b>	89,0	6,9	38,5	3,8
<b>W Iate (kg/mês)</b>				
<b>P</b>	34,5	1,8	52,7	1,0
<b>N</b>	3,0	0,5	1,0	0,1
<b>SS</b>	112,6	6,2	113,9	2,8

As cargas de SS lançados pela sub-bacia do Iate são maiores do que os da ETE nos dois meses analisados, e a carga de DQO no mês de novembro correspondeu a 89,0% da carga lançada. Esses resultados confirmam o grau de poluição que as águas de drenagem urbana podem estar causando ao Lago Paranoá.

Também foram elaboradas as curvas M(V) para os parâmetros de qualidade na sub-bacia do Iate. Pode-se destacar que nessa sub-bacia o fenômeno de “*first flush*” ocorreu em todos os eventos analisados quanto a DQO e o N, não ocorreu em apenas um evento dos SS e do P.

Na Figura 5-104 o evento que se destaca corresponde ao do dia 08/01/13, pois em 30% do volume escoado, mais de 60% da massa de DQO já havia sido lançada. E se fossem retidos 50% do volume dos eventos ocorridos na sub-bacia do Iate, haveria uma remoção de mais de 60% da massa desse poluente em todos os eventos analisados.

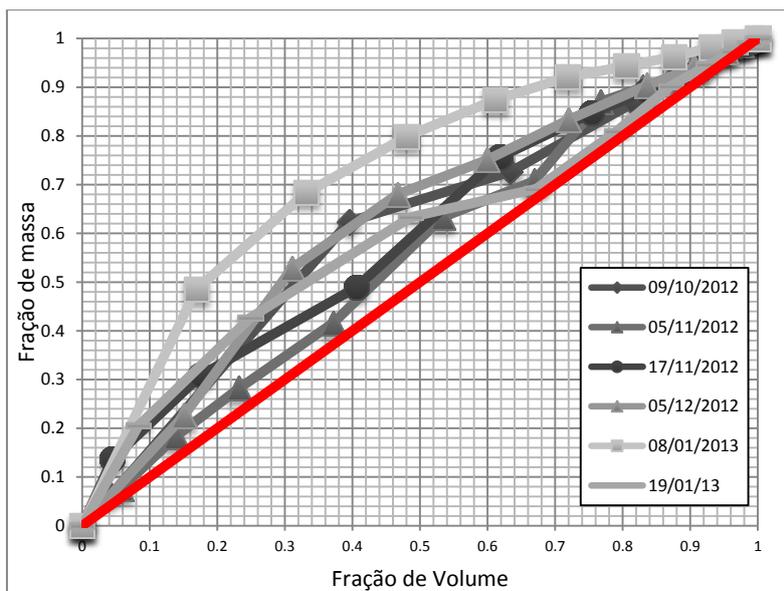


Figura 5-104. Curva M(V) da DQO dos eventos na sub-bacia do Iate.

Na Figura 5-105 também é possível verificar a ocorrência do “*first flush*” nos seis eventos analisados, onde o evento do dia 05/12/12 retém 65% da massa do poluente em 30% do volume escoado.

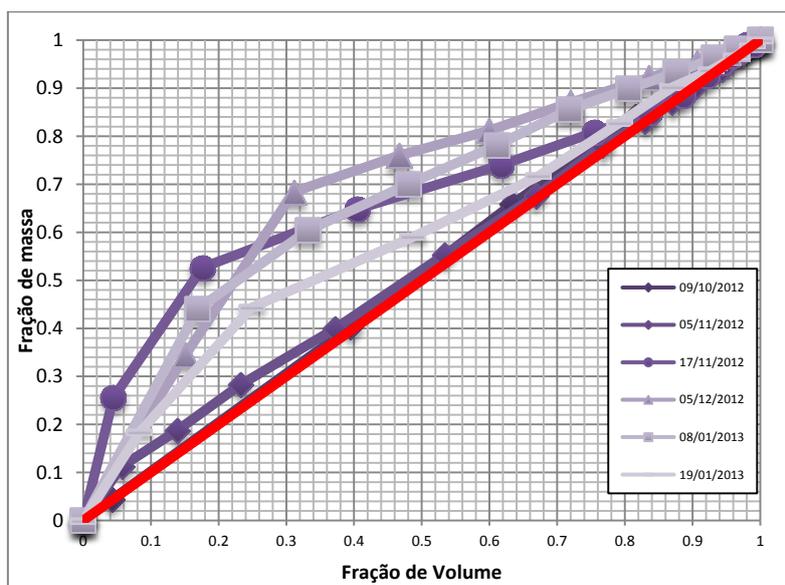


Figura 5-105. Curva M(V) do N dos eventos na sub-bacia do Iate.

Já para os parâmetros de P (Figura 5-106) e SS (Figura 5-107) a implantação de uma bacia de detenção requer um estudo mais detalhado para a remoção dessas variáveis. No fósforo há uma relativa eficiência já na retenção dos volumes iniciais para 2 dos 6 eventos analisados, mas se 60% do volume inicial for retido há uma remoção 60% da massa de P em 5 dos 6 eventos analisados. Valores que também podem ser observados na curva M(V) do SS.

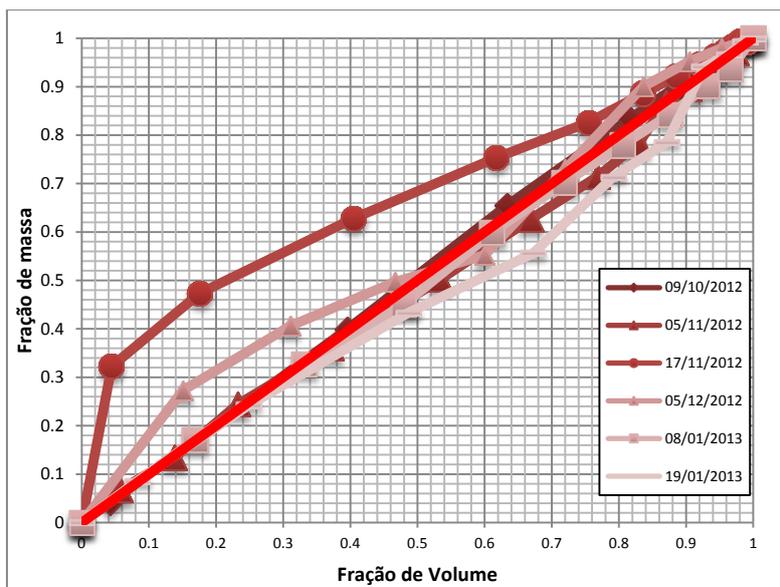


Figura 5-106. Curva M(V) do P dos eventos na sub-bacia do Iate.

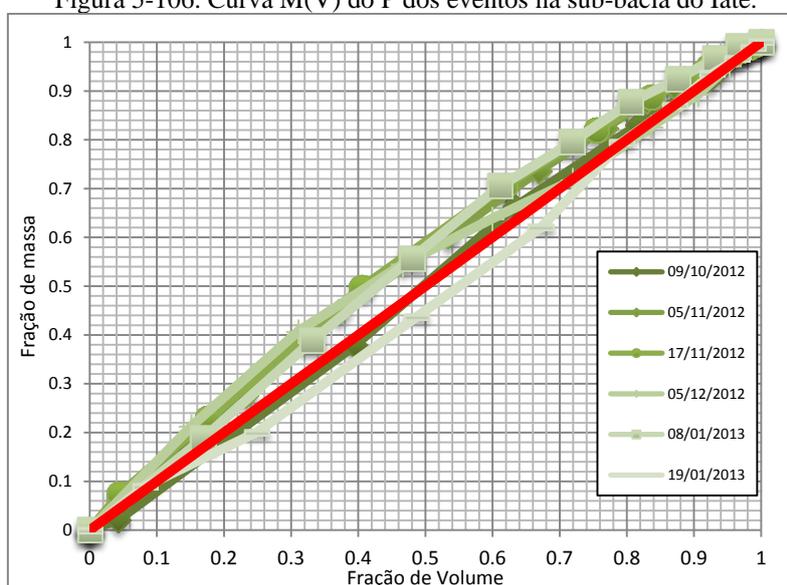


Figura 5-107. Curva M(V) dos SS dos eventos na sub-bacia do Iate.

## 5.6. MODELAGEM CHUVA-VAZÃO

### 5.6.1. Calibração

A modelagem hidráulica e hidrológica utilizando o programa computacional SWMM foi realizada na sub-bacia do C.O. Nesta etapa foram inseridos os dados de entrada sobre as características física da bacia em estudo no modelo e calibrado para um evento específico, o do dia 19/01/13, devido uma maior confiabilidade dos dados disponíveis. As principais características desse evento estão mostradas na Tabela 5-31.

Tabela 5-31. Dados do evento do dia 19/01/13.

<b>Evento 19/01/13</b>		
<b>Chuva antecedente</b>	Tempo (h)	58
	Vol. (mm)	6,33
<b>Precipitação Total</b>	CAESB	4,8
	106N	21
	SG12	19,2
<b>Duração do evento</b>	CAESB	0,333
	106N	0,667
	SG12	0,833
<b>Intensidade</b>	CAESB	14,4
	106N	31,5
	SG12	23,04
<b>Vazão Máxima</b>	5,5 m <sup>3</sup> /s	
<b>Dia da semana</b>	Sábado	

O evento não foi espacialmente bem distribuído, observando que na cabeceira da bacia, onde se localiza o pluviógrafo da CAESB, o valor da precipitação foi de apenas 4,8mm, em um tempo bastante curto, o que gerou uma intensidade de 14,4mm/h. No centro e no final da bacia houve uma maior regularidade da chuva, registrando uma altura de 21mm e intensidade máxima de 31,05mm/h. Percebe-se também que foi um evento posterior a uma pequena chuva em um intervalo de tempo maior que dois dias, detalhe importante nesta etapa do trabalho por se considerar que o solo não se encontrava saturado.

A precipitação do evento pode ser visualizada no gráfico da Figura 5-108, onde é mostrado o hietograma do evento do dia 19/01/13. A distribuição espacial é mostrada na Figura 5-109.

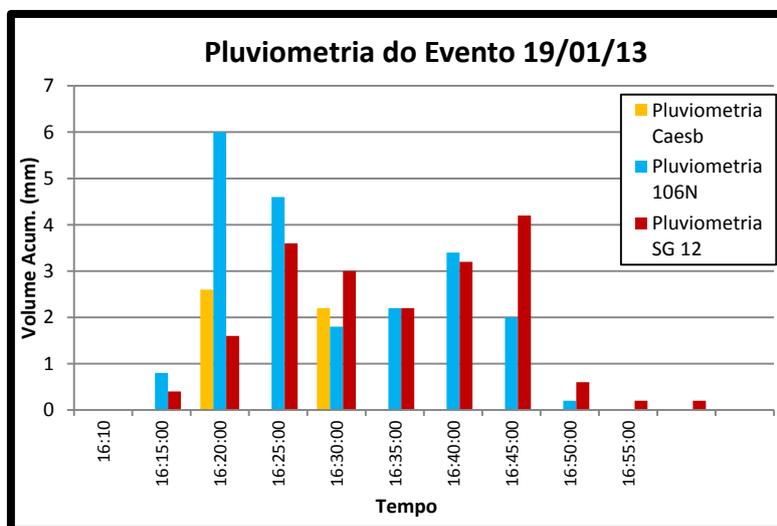


Figura 5-108. Hietograma do evento 19/01/13.

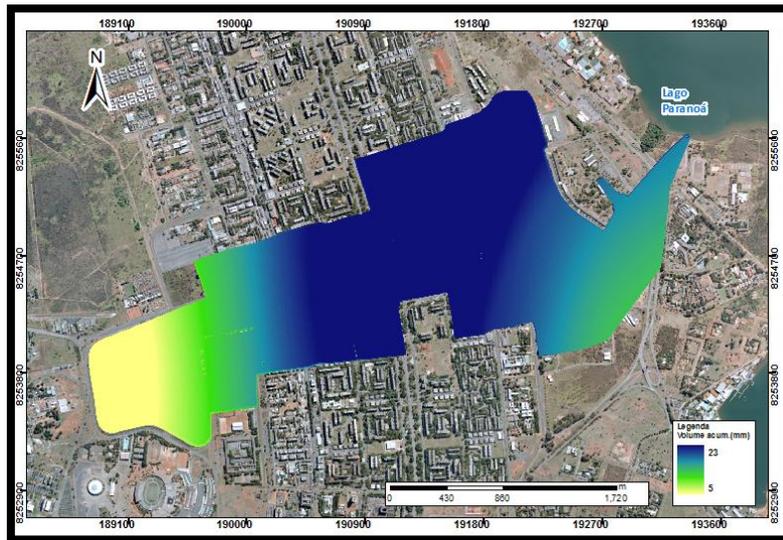


Figura 5-109. Distribuição espacial do vol. acum. da precipitação do evento 19/01/13.

O resultado da simulação sem calibração pode ser verificado na Figura 5-110 e na Tabela 5-32. Percebe-se que o modelo respondeu bem aos dados observados, deduzindo que o tipo de rede, de uso e ocupação do solo, declividade, entre outros fatores, favoreceu a utilização do SWMM. Porém, para conseguir resultados melhores foi realizado o processo de calibração.

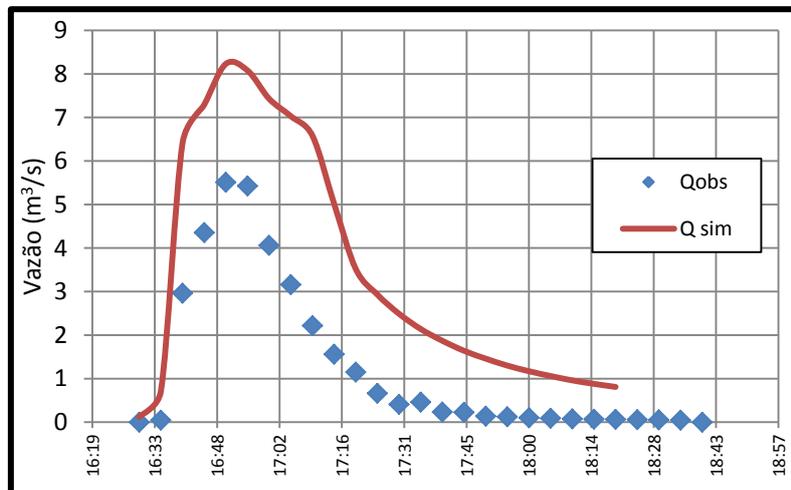


Figura 5-110. Gráfico dos resultados da Qobs e a Qsim para o modelo sem estar calibrado.

Tabela 5-32. Dados estatísticos do evento do dia 19/01/13 sem calibração.

Análise Estatística	
ISE	Razoável
rating	
ISE	13,4
R <sup>2</sup>	0,8
NS	0,5
SEE	1,87
RMSE	8,34

Para a calibração foi utilizado tanto o programa computacional SWMM, como o PCSWMM. O primeiro, para a entrada de dados e devido a familiaridade com o funcionamento do programa. O segundo permite os estudos estatísticos com os dados simulados e os dados observados. Ambos os modelos apresentam o mesmo núcleo de cálculo para o fluxo, conforme explicado na revisão bibliográfica.

Foram alterados parâmetros como o número de Manning no canal, largura, declividade e a porcentagem de área impermeável da sub-bacia estudada, sendo este último o mais sensível, e apesar de ser um parâmetro físico, foi ajustado devido as incertezas quanto ao grau permeabilidade da classificação do uso e ocupação do solo.

Inicialmente, a calibração aconteceu de forma manual, por meio da multiplicação de variações dos parâmetros, e foi refinada no PCSWMM. Essa sequência foi realizada para fornecer mais conhecimento sobre os parâmetros do modelo, a fim de que a calibração não apresentasse erros.

Como o resultado, apresenta-se a Figura 5-111, onde estão plotados os gráficos da  $Q_{obs}$  juntamente com a  $Q_{sim}$ . Percebe-se que os hidrogramas estão semelhantes, o pico apresenta-se um pouco deslocado a direita, mas a subida e descida do hidrograma estão muito próximas.



Figura 5-111. Gráfico dos resultados da  $Q_{obs}$  e a  $Q_{sim}$ .

Visualmente é possível verificar que os dados calculados ficaram bem próximos aos dados reais. Na subida do hidrograma, percebe-se que o tempo encontra-se coerente no início, ocorrendo um retardo próximo ao pico, fato que pode ser atribuído à entrada das águas provenientes da chuva registrada pelo pluviômetro central na sub-bacia. Já a

descida do hidrograma encontra-se no tempo correto, sendo um pouco superestimada ao final da simulação, onde as vazões calculadas são maiores que as observadas.

Para analisar a calibração foram calculadas as estatísticas entre os dados medidos e simulados na Tabela 5-33.

Tabela 5-33. Dados estatísticos do evento do dia 19/01/13.

<b>Análise Estatística</b>	
<b>ISE rating</b>	Muito Bom
<b>ISE</b>	5,19
<b>R<sup>2</sup></b>	0,97
<b>NS</b>	0,97
<b>SEE</b>	0,245
<b>RMSE</b>	1,17

Por essa tabela percebe-se que os resultados da calibração são bastante satisfatórios. O valor da integral do erro quadrático foi muito bom, visto que a diferença entre os valores calculados e observados foi de apenas 5,2%. O valor de NS é muito bom. O SEE representa o desvio padrão entre os valores, e como o valor foi próximo a 0, é um bom resultado.

A Figura 5-112 mostra a correlação entre a  $Q_{obs}$  e a  $Q_{sim}$  cujo  $R^2$  foi de 0,97.

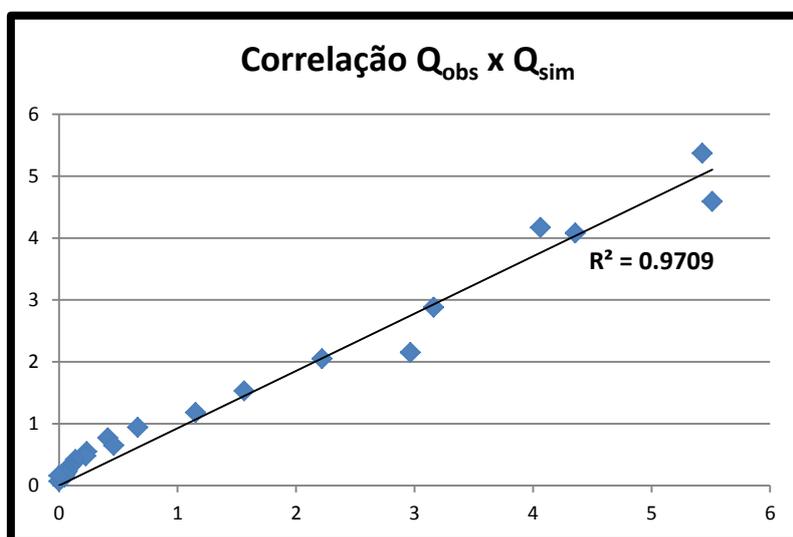


Figura 5-112.  $Q_{obs}$  x  $Q_{sim}$  do evento do dia 19/01/2013.

Analisando os parâmetros de calibração do modelo, verificou-se que o mais sensível às alterações, correspondia a porcentagem da área impermeável ( $A_i$ ), pois dentre a classificação adotada do uso de solo foi variado o grau de arborização dos espaços, como edificações muito ou pouco arborizadas, estacionamento muito ou pouco arborizado,

pavimentação arborizada, devido a presença de arborização entre os ambientes construídos, sendo necessárias alterações no grau de permeabilidade dessas áreas.

Após a calibração, os valores finais quanto ao  $A_i$  foram verificados (Figura 5-113) para analisar a coerência do resultado. Nessa figura pode-se observar que as áreas mais impermeáveis correspondem às quadras comerciais e as quadras 704, 705 e 706, que são regiões de alta densidade de ocupação onde há ausência de áreas verdes.

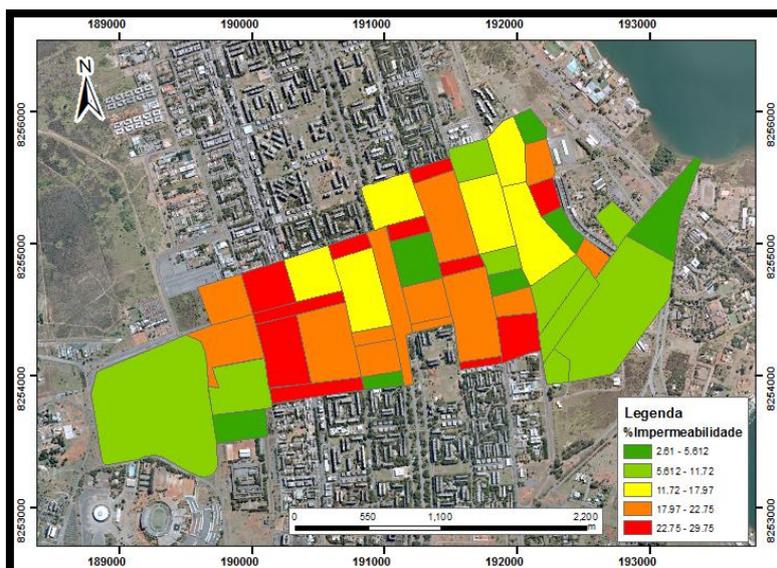


Figura 5-113. Análise da porcentagem da área impermeável do modelo calibrado.

Ainda na Figura 5-113 é possível identificar que mais a jusante na sub-bacia as áreas mais impermeáveis correspondem às áreas de estacionamentos. Outra observação é que a região composta somente de vias urbanas, o Eixão, não foi representado com a área mais avermelhada, se situando na segunda categoria de grau de impermeabilidade, o que não vem a influenciar na modelagem como um todo, visto que é uma área relativamente pequena.

Percebe-se também que as áreas mais permeáveis correspondem aos locais como menor presença de área construída, ou seja, onde há a presença de solos expostos, campos abertos ou áreas verdes.

Os demais dados, referentes aos dados de entrada das características da sub-bacia, poderão ser consultados no Anexo A.

Depois de calibrado, é necessário analisar se o modelo responde bem a outros eventos. Assim, é realizada a etapa de verificação.

### 5.6.2. Verificação do modelo calibrado

Utilizando o modelo calibrado em todos os eventos ocorridos na sub-bacia do C.O. escolheu-se alguns deles para a análise dos resultados.

Selecionou-se, portanto, alguns eventos cujo resultados foram bons e outros com resultados ruins, a fim de entender o processo realizado pelo modelo para a simulação chuva-vazão. O evento do dia 19/11/12, já destacado anteriormente devido à particularidade da chuva com um  $Tr = 73$  anos, foi simulado para observar as limitações do modelo, e apresentado na Figura 1-184 e na Tabela 5-36.

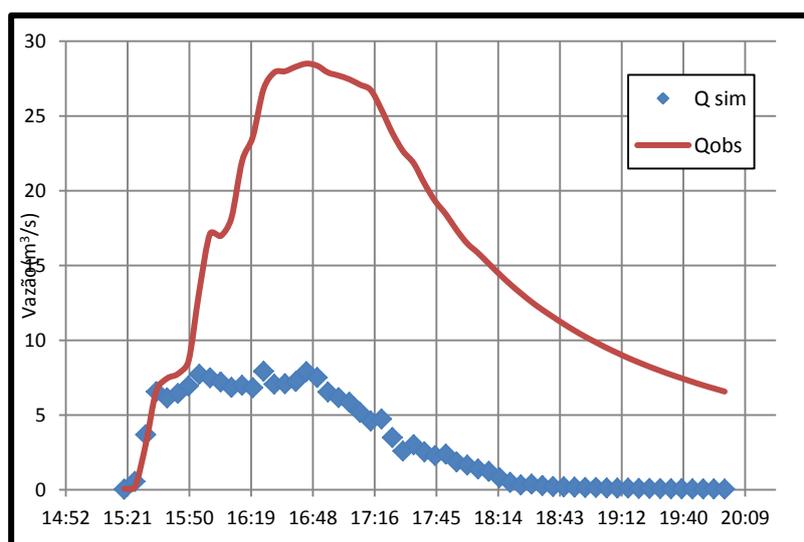


Figura 5-114. Qobs x Qcal para o evento do dia 19/11/2013

Na Figura 5-114 é notável o mau resultado fornecido pela simulação. Os valores das vazões simuladas comportaram-se bem somente nos 30 primeiros minutos do evento, quando ocorre a subida do hidrograma, mas após isso a simulação das vazões atingem valores maiores que os observados em mais de 300%.

Vale ressaltar que durante esse evento um dos pluviógrafos ainda não havia sido instalado, o que pode ter afetado o resultado, pois foram utilizados dados corrigidos a partir de outros eventos. Mesmo com essa adaptação, os erros são muito grandes.

Outra provável explicação, é que a curva-chave não estaria sendo satisfatória para eventos de grande magnitude nessa sub-bacia. No entanto, o maior valor da altura linimétrica lida foi de 0,7m, o que não seria capaz de gerar vazões de mais de 20m<sup>3</sup>/s.

Para verificar a ocorrência da simulação, calculou-se o coeficiente de escoamento gerado por esse evento, tanto observado como simulado. Percebe-se que o C<sub>sim</sub> foi 5 vezes maior do que o C<sub>obs</sub>. Ou seja, o programa simulou uma situação inexistente nessa sub-bacia, visto que o maior valor de C<sub>obs</sub> durante todo o período de monitoramento foi de 0,12. Pode-se inferir assim, que para eventos com volume de precipitação muito elevado, o modelo calibrado não irá gerar bons resultados de vazões.

Tabela 5-34. Análise do C para o evento do dia 19/11/2012.

Variáveis	Valores
Pluv. Média (mm)	84,8
Vol. de chuva (m <sup>3</sup> )	460826
Vol. Esc. Obs.	53429,8
C obs.	0,11
Vol. Esc. Sim	264186
C sim	0,57

Caso semelhante pode ser encontrado no evento do dia 23/01/13 (Figura 5-115, Tabela 5-35 e Tabela 5-36), onde as vazões simuladas foram muito elevadas. Mas o C<sub>obs</sub> em ambos os eventos foi praticamente o mesmo, o que indica que para valores dos coeficientes iguais ou maiores que 0,11, o modelo não responderá bem ao evento.

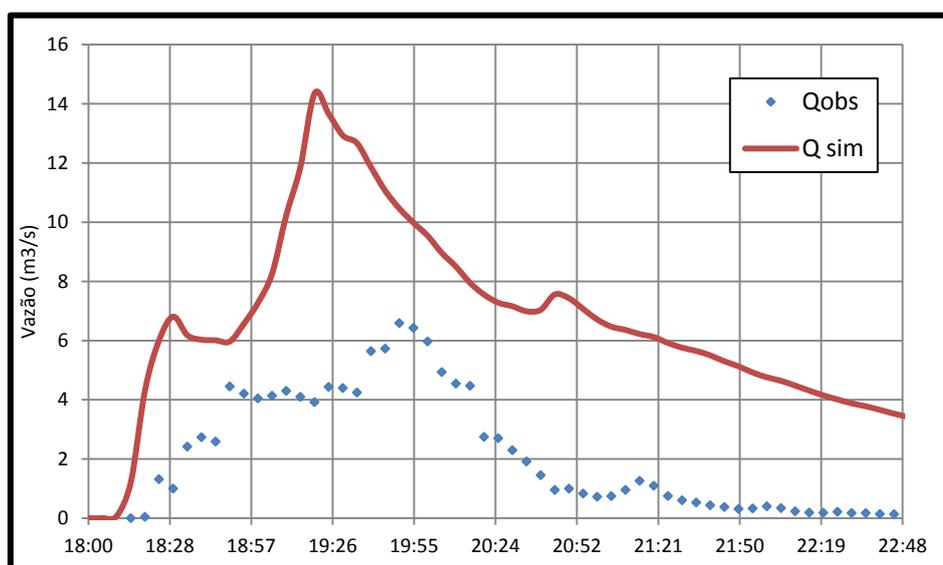


Figura 5-115. Qobs x Qsim para o evento do dia 23/01/2013

Tabela 5-35. Análise do C para o evento do dia 23/01/2013.

Variáveis	Valores
Pluv. Média (mm)	57,53333
Vol. De chuva (m <sup>3</sup> )	312406
Vol. Esc. Obs	36828,47
C obs	0,118
Vol. Esc. Sim	124575,00
C sim	0,40

Em todos os casos em que o modelo não forneceu bons resultados, ocorreu por problemas na superestimação das vazões. Mais dois casos podem ser exemplificados: o evento do dia 05/12/2012 (Figura 5-116) e do 17/11/2012 (Figura 5-117).

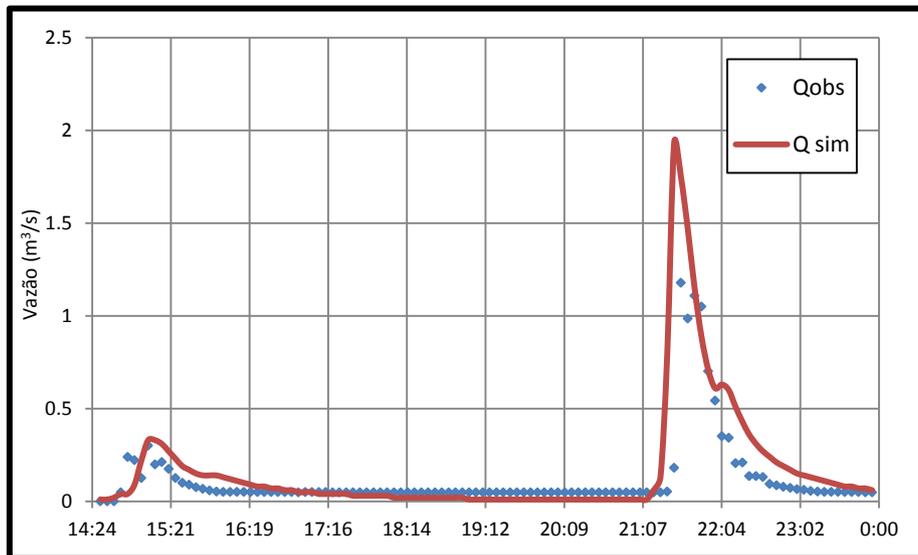


Figura 5-116. Qobs x Qcal para o evento do dia 05/12/2012

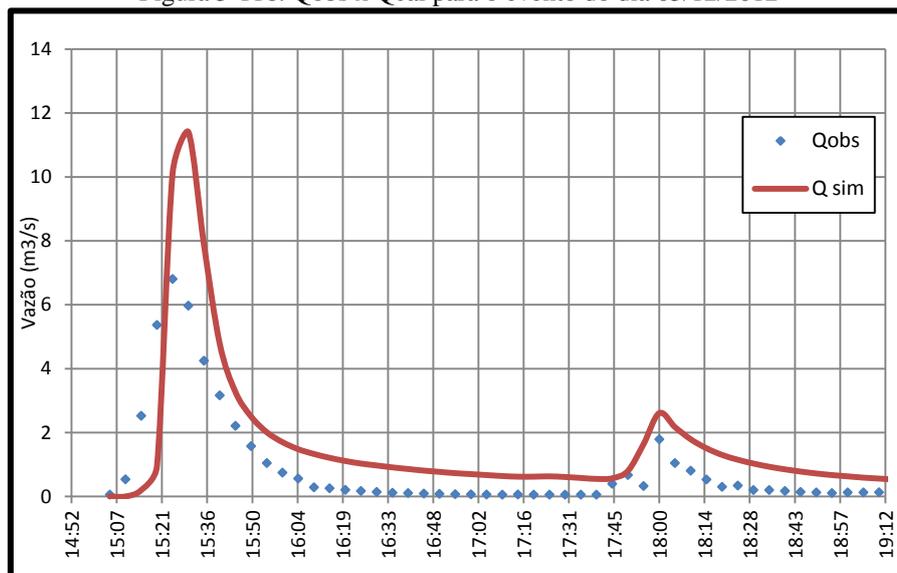


Figura 5-117. Qobs x Qsim para o evento do dia 17/11/2012.

Em ambos os eventos, percebe-se que o modelo gerou vazões consistentes, apresentando problemas no valor da vazão de pico. Essa observação é importante, pois embora haja uma diferença entre as  $Q_{sim}$  e as  $Q_{obs}$ , percebe-se que mesmo que a calibração tenha sido para uma vazão de pico de  $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , funcionou, com as devidas considerações, para eventos de vazões de pico menores.

Na Tabela 5-36 estão organizados os dados estatísticos para cada evento, onde se percebe um mau ajuste para os eventos do dia 19/11/12 e 23/11/13, principalmente pelo NS negativo. Para os outros dois eventos, percebe-se uma boa correlação dos dados (boa resposta do modelo à precipitação), mas erros maiores que 10%.

Tabela 5-36. Resumo do resultado da verificação para eventos que não obtiveram resultados satisfatórios.

<b>Análise</b>	<b>19/11/2012</b>	<b>23/01/2013</b>	<b>05/12/2013</b>	<b>17/11/2012</b>
<b>Estatística</b>				
<b>ISE rating</b>	Razoável	Bom	Razoável	Razoável
<b>ISE</b>	12	9,69	11,1	10,1
<b>R<sup>2</sup></b>	-0,307	-0,463	0,63	0,705
<b>NS</b>	-1,52	-1,28	0,61	0,523
<b>SEE</b>	13,7	4,88	0,197	1,19
<b>RMSE</b>	91,5	37	0,91	8,53

Continuando a verificação do modelo calibrado, também foram encontrados resultados positivos. Foram selecionados alguns desses casos para análise.

No dia 16/01/13 (Figura 5-118) foram gerados picos sucessivos no hidrograma, e o modelo se ajustou bem às vazões nas primeiras cinco horas de precipitação, ocorrendo discrepâncias ao final da simulação. O  $C_{obs}$  foi de 0,0317, enquanto que o  $C_{sim}$  foi de 0,29. Essas diferenças nos valores de C mostram que no modelo adotou-se uma sub-bacia mais impermeável do que a realidade, ou seja, no método SCS adotou-se o valor de CN maior do que o real. Assim, aparentemente, a infiltração é subestimada após a ocorrência de um pré-evento.

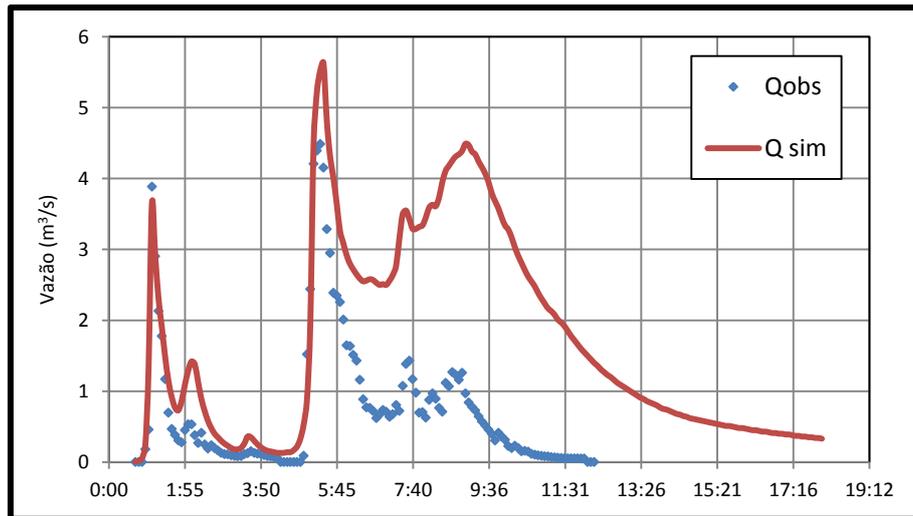


Figura 5-118. Qobs x Qcal para o evento do dia 16/01/2013.

Mesmo com esses problemas, o evento do dia 16/01/2013 um ajuste muito bom no 1º pico até a subida do terceiro (Figura 5-119), com um NS maior que 0,7 e erros entre os dados apenas 8,5% (Tabela 5-37).

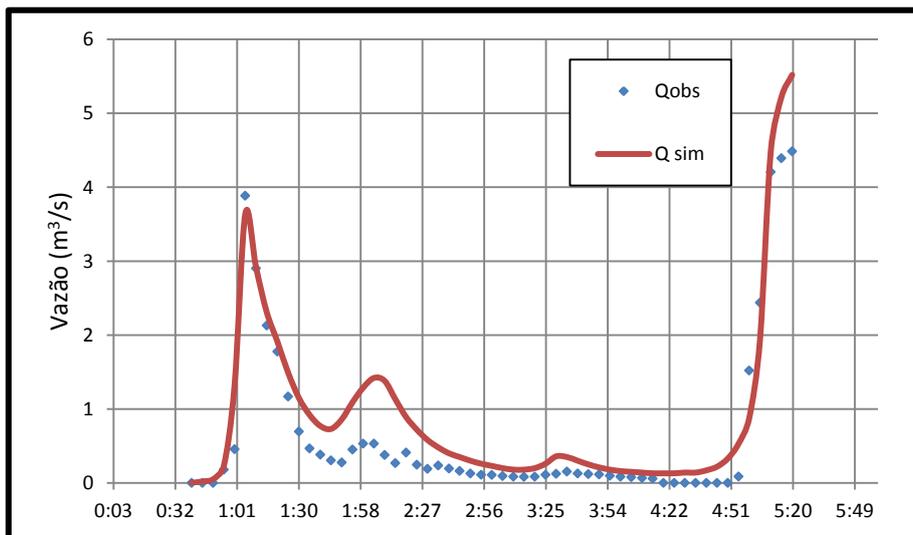


Figura 5-119. Ampliação da Qobs x Qcal para o evento do dia 16/01/2013 no 1º pico até a subida do 2º pico.

O modelo calibrado promove boas simulações para eventos com baixas vazões de pico. No evento do dia 28/12/12 (Figura 5-120), com vazão de pico observada foi de  $2,3\text{m}^3/\text{s}$ . O ajuste foi bom com erros de 7% e NS de 0,7. Embora haja uma subestimação das vazões nos dois picos, deve-se considerar que os valores são baixos, menor que  $1\text{m}^3/\text{s}$ , o que implica numa distribuição da chuva com algum erro, visto que o SWMM não considera a distribuição espacial da precipitação dentro das sub-bacias, conforme já foi discutido.

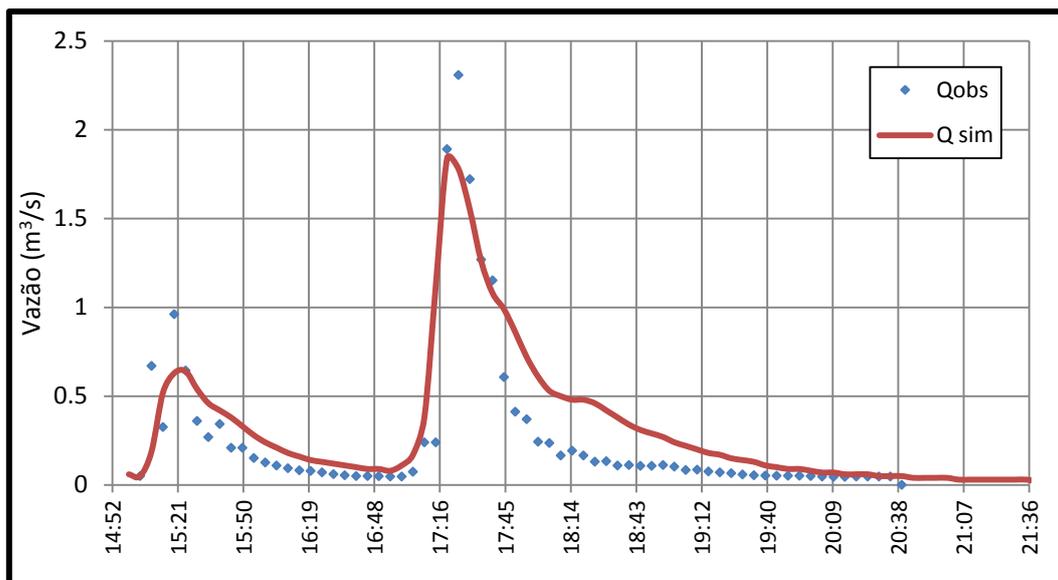


Figura 5-120. Qobs x Qcal para o evento do dia 28/12/2012.

Outro exemplo da verificação do modelo calibrado é o evento do dia 15/01/13 (Figura 5-121), que embora tenha ignorado o primeiro pico, provavelmente em função da má distribuição da chuva, comportou-se bem nos três demais picos sucessivos em um evento de vazão de pico inferior ao do calibrado.

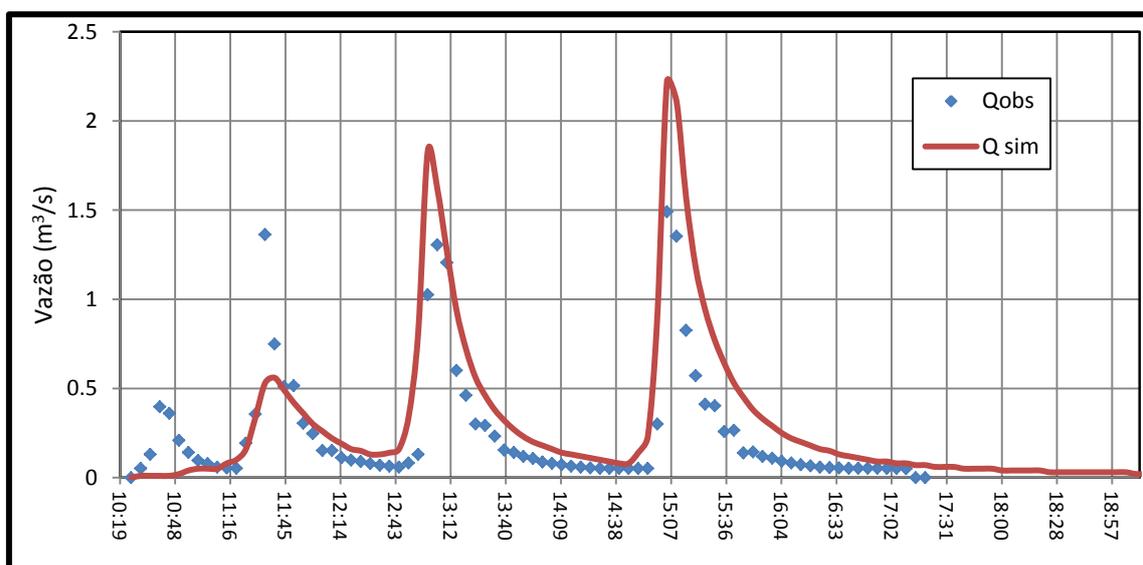


Figura 5-121. Qobs x Qcal para o evento do dia 15/01/2013.

Na Tabela 5-37 são mostrados os índices de ajustes para três eventos. Percebe-se que em todos eles os ajustes podem ser considerados bons, com NS maiores que 0,7, e erros menores que 9%.

Tabela 5-37. Resumo dos bons resultado da verificação do modelo calibrado.

Análise	28/12/2012	16/01/2012	15/01/2012
Estatística		1º pico	
ISE rating	Bom	Bom	Bom

<b>ISE</b>	7,01	8,57	7,75
<b>R<sup>2</sup></b>	0,708	0,6	0,69
<b>NS</b>	0,709	0,795	0,714
<b>SEE</b>	0,215	0,59	0,225
<b>RMSE</b>	1,25	3,31	1,44

Como resumo de todos os resultados da verificação, foi confeccionado a Tabela 5-38, onde se encontram todas as comparações estatísticas dos eventos simulados na sub-bacia do C.O. Pode-se notar que nos eventos do início do mês de novembro há muitos valores de NS negativos, fato que pode ser atribuído à falta de dados confiáveis de precipitação.

Tabela 5-38. Resumo do todos os resultado da verificação.

<b>Características</b>	<b>ISE rating</b>	<b>ISE</b>	<b>R2</b>	<b>NS</b>	<b>SEE</b>	<b>RMSE</b>
<b>01/11/2012</b>	Pobre	28,8	-1,72	-4,87	2,3	22,3
<b>03/11/2012</b>	Bom	6,82	-0,307	-0,167	0,969	8,72
<b>05/11/2012</b>	Pobre	34,5	0,4443	-7,14	3,08	35,2
<b>08/11/2012</b>	Muito Bom	8,9	0,7844	0,737	0,212	1,61
<b>11/11/2012</b>	Pobre	38,5	0,61	-7,74	3,57	29,6
<b>14/11/2012</b>	Razoável	12,3	0,7	0,645	0,417	2,23
<b>17/11/2012</b>	Razoável	10,1	0,705	0,523	1,19	8,53
<b>19/11/2012</b>	Razoável	12	-0,302	-1,52	13,7	91,5
<b>20/11/2012</b>	Razoável	11,8	0,078	0,4672	0,108	0,61
<b>23/11/2012</b>	Razoável	0,347	0,31	0,548	0,548	1,75
<b>26/11/2012</b>	Bom	7,34	0,8679	0,717	0,421	2,76
<b>05/12/2012</b>	Razoável	11,1	0,63	0,611	0,197	0,91
<b>14/12/2012</b>	Razoável	10,4	0,615	0,57	0,445	1,53
<b>27/12/2012</b>	Razoável	14	0,75	0,658	0,371	1,38
<b>28/12/2012</b>	Bom	7,01	0,7	0,709	0,215	1,25
<b>30/12/2012</b>	Razoável	14	0,2435	0,538	0,234	0,975
<b>08/01/2013</b>	Bom	9,91	0,76	0,453	0,698	4,47
<b>09/01/2013</b>	Bom	6,42	0,731	0,737	0,496	3,22
<b>15/01/2013</b>	Bom	7,75	0,6952	0,714	0,225	1,44
<b>16/01/2013</b>	Bom*	8,57	0,5942	0,795	0,59	3,31
<b>19/01/2013</b>	Muito Bom	5,19	0,97	0,97	0,245	1,17
<b>23/01/2013</b>	Bom	9,69	-0,463	-1,28	4,88	37
<b>25/01/2013</b>	Bom	8,41	0,4231	0,471	0,213	0,859
<b>26/01/2013</b>	Bom	6,05	0,282	0,307	0,335	1,58
<b>27/01/2013</b>	Bom*	4,55	0,8039	0,711	0,228	1,2
<b>29/01/2013</b>	Razoável	10,1	0,7581	0,311	1,42	6,98
<b>30/01/2013</b>	Razoável	15,6	-0,83	-0,259	0,427	1,43
<b>01/02/2013</b>	Razoável	11,2	0,3464	0,277	0,588	2,43
<b>24/02/2013</b>	Razoável	15,8	0,3774	0,0962	1,38	6,92
<b>25/02/2013</b>	Bom	7,5	0,5614	0,626	0,98	7,86

**\*1º pico**

Analisando-se o coeficiente de escoamento dos eventos e nota-se que se os  $C_{obs}$  são maiores que 0,1 (valor de C para o evento calibrado) ou muito menores que esse valor, menos precisos eram os resultados da simulação.

Esse fato pode ser constatado na Tabela 5-39, no qual há uma exceção, o evento do dia 01/11/12 , que podem ter sido causados devido a erros nos dados de pluviometria, porque ainda não estavam em operação os novos pluviógrafos.

Tabela 5-39. Coeficiente de escoamento dos eventos.

<b>Evento</b>	<b><math>C_{obs}</math></b>	<b><math>C_{sim}</math></b>	
<b>01/11/2012</b>	0,09	0,36	Péssimo
<b>19/11/2012</b>	0,12	0,57	Péssimo
<b>23/11/2012</b>	0,08	0,08	Bom*
<b>26/11/2012</b>	0,08	0,12	Bom
<b>05/12/2012</b>	0,09	0,01	Bom
<b>27/12/2012</b>	0,11	0,10	Muito bom
<b>08/01/2013</b>	0,07	0,15	Péssimo
<b>09/01/2013</b>	0,08	0,14	Muito bom
<b>15/01/2013</b>	0,08	0,12	Muito bom
<b>16/01/2013</b>	0,11	0,31	Péssimo
<b>19/01/2013</b>	0,10	0,10	Calibrado
<b>23/01/2013</b>	0,12	0,40	Péssimo
<b>25/01/2013</b>	0,07	0,09	Bom
<b>26/01/2013</b>	0,12	0,11	Bom
<b>29/01/2013</b>	0,11	0,20	Bom
<b>01/02/2013</b>	0,06	0,10	Ruim
<b>24/02/2013</b>	0,06	0,11	Ruim
<b>25/01/2013</b>	0,10	0,18	Bom

\*Boa simulação, mas problemas no deslocamento do hidrograma.

Na utilização do modelo a intensidade do evento deve ser levada em consideração, juntamente com a precipitação antecedente.

## 5.7. MODELAGEM DE CARGAS DE POLUIÇÃO

A maioria dos estudos sobre poluição difusa tem como objetivo principal a avaliação do impacto do lançamento da drenagem urbana sobre o corpo receptor, no qual o monitoramento é capaz de atingir essa meta.

Depois de realizado o monitoramento dos 34 eventos, tentou-se simular as cargas dos poluentes utilizando o SWMM. Na modelagem das cargas de poluição foram escolhidos dois parâmetros para a sub-bacia do C.O., a DQO e os SS. A escolha da sub-bacia deveu-se ao fato de que a vazão já estava calibrada e com isso os valores das cargas seriam mais confiáveis. A decisão pela escolha dos poluentes ocorreu após as análises do monitoramento, onde foi percebido que esses parâmetros estavam mais relacionados com o uso e ocupação do solo do que com os lançamentos de esgotos domésticos na galeria de drenagem pluvial, permitindo assim uma verificação melhor da modelagem das cargas.

### 5.7.1. Modelagem da DQO

Foi escolhido o evento do dia 19/01/13 para a calibração da qualidade, por ter sido a mesma utilizada para a calibração do escoamento e que já apresentaria bons resultados para a vazão simulada.

Assim, com os dados obtidos em campo ajustou-se uma curva-chave empírica da DQO para o evento citado, plotando os valores da Carga (g/s) x Vazão (m<sup>3</sup>/s) (Figura 5-122). Com esse gráfico é possível obter os coeficientes da função exponencial para a lavagem dos poluentes (*washoff*), discutidas anteriormente, os valores foram  $C_1=0,0369$  e  $C_2 = 1,218$ .

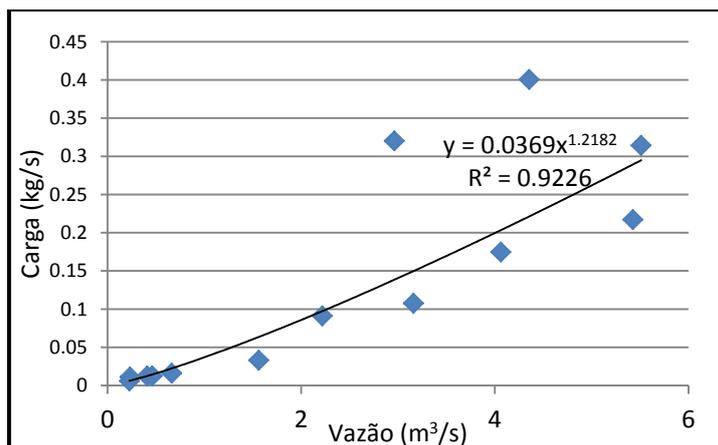


Figura 5-122. Curva-chave empírica da DQO para o evento do dia 19/01/13 na sub-bacia do C.O.

Inserida essa curva no modelo para todos os tipos de ocupação, obtiveram-se os resultados simulados na Figura 5-123. Percebe-se que houve um pico na concentração e em seguida uma recessão, que tencionam ao valor de 50 mg/L, um valor muito alto, principalmente quando se considera que há vazões muito pequenas (Figura 5-123). Nas Figura 5-124 e Figura 5-125 são mostrados os resultados da comparação dos valores simulados com o observado para concentração e carga, respectivamente. Percebe-se que os valores da concentração da DQO simulados foram muito menores do que os valores observados. No entanto, quando realizada a comparação entre as cargas (W) da DQO, percebe-se um ajuste melhor.

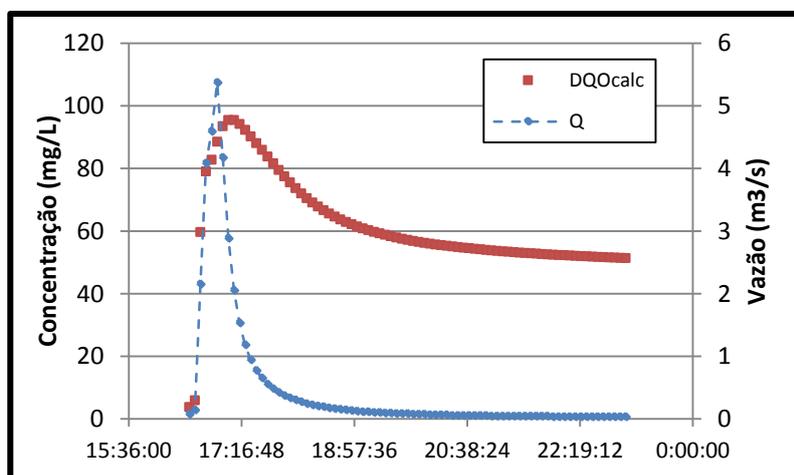


Figura 5-123. Simulação para a concentração da DQO para o evento do dia 19/01/13, juntamente com a Q.

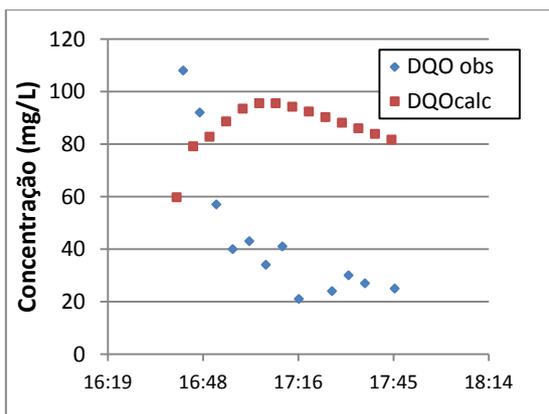


Figura 5-124. Comparação entre as concentrações de DQO ( $CDQO_{obs}$  e  $CDQO_{sim}$ ) sem calibração.

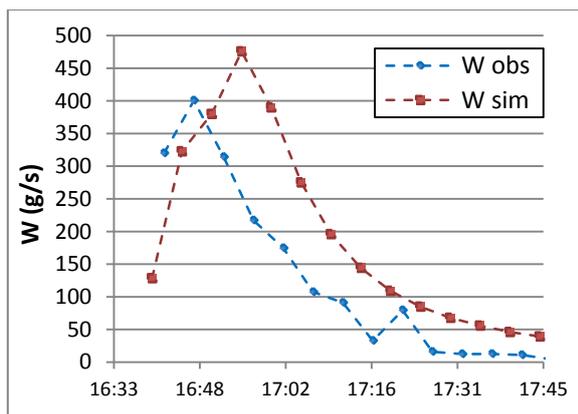


Figura 5-125. Comparação entre as cargas de DQO ( $WDQO_{obs}$  e  $WDQO_{sim}$ ) sem calibração.

A etapa de calibração foi realizada de acordo com o uso de solo, e percebeu-se que para a ocupação do tipo “Vias” verifica-se uma maior sensibilidade, por estar presente em quase todas as sub-bacias, e portanto os dados referentes a essa categoria foram modificados. Após alterações por tentativas chegou-se aos coeficientes da Tabela 5-40. Os dados referentes ao parcelamento de cada uso e ocupação nas sub-bacias podem ser verificados no Anexo B.

Tabela 5-40. Coeficientes da equação EXP da DQO em cada uso e ocupação para a lavagem dos poluentes.

Uso e Ocupação	Washoff	
	C1	C2
<b>Residencial</b>	0,00002	0,5
<b>Comercial</b>	0,005	0,5
<b>Vias</b>	0,15	1,8
<b>Sem Ocupação</b>	0,0002	0,5
<b>Universidade</b>	0,0005	0,5
<b>Oficina</b>	0,005	0,5
<b>Hospital/Clinicas</b>	0,0005	0,5

Durante a modelagem, percebeu-se que o processo de acumulação dos poluentes não apresentava grande sensibilidade, sendo adotados os mesmo valores em todos os usos (Tabela 5-41). O valor de  $C_1$  encontrado foi de 0,99 enquanto ao de  $C_2$  foi de 0,0206 utilizando a mesma metodologia adotada por Alvarez (2010) e replicado por Montenegro (2011).

Tabela 5-41. Coeficientes da equação EXP da DQO em cada uso e ocupação para a acumulação dos poluentes.

Uso e Ocupação	Build up	
	C1	C2
<b>Todos os tipos</b>	0,99	0,0206

Assim, foi feita a simulação para o evento do dia 19/01/13, e obtiveram-se resultados muito melhores, conforme observado na Figura 5-126 e Figura 5-127. O coeficiente de  $R^2$  para essa correlação foi de 0,91.

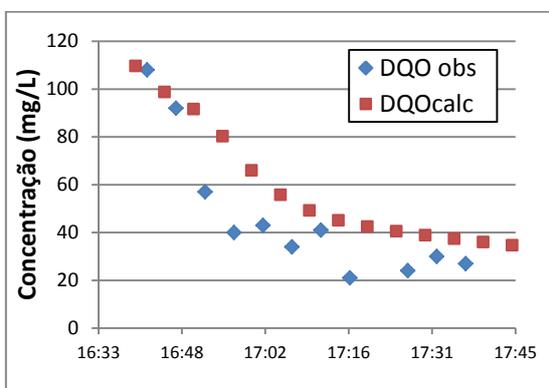


Figura 5-126. Comparação entre as concentrações de DQO para o evento do dia 19/01/13.

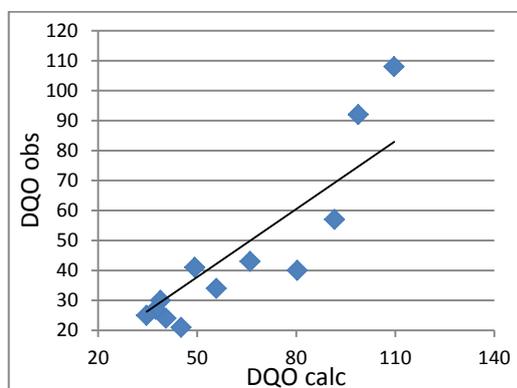


Figura 5-127. Correlação entre a  $CDQO_{obs}$  e  $CDQO_{sim}$  para o evento do dia 19/01/13

Com as cargas geradas, obteve-se o coeficiente de correlação de 0,88, as curvas obtidas e observadas são mostradas nas Figura 5-128 e Figura 5-129.

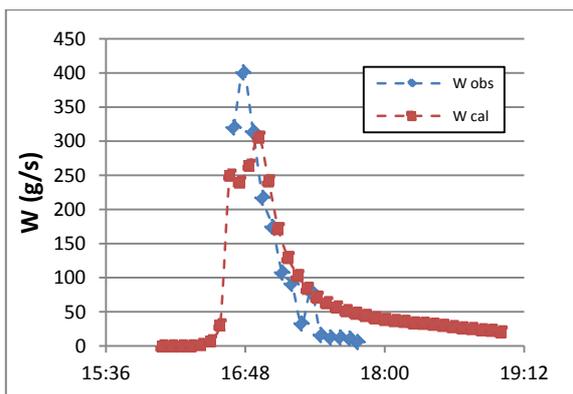


Figura 5-128. Comparação entre as cargas de DQO ( $WDQO_{obs}$  e  $WDQO_{sim}$ ) após a calibração.

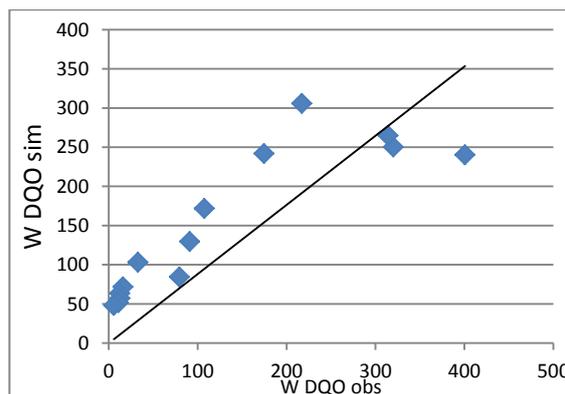


Figura 5-129. Correlação entre as W de DQO do evento calibrado.

Para a verificação da modelagem foram escolhidos dois eventos classificados como “Bom” para a simulação da vazão (Tabela 5-38). Abaixo serão expostos alguns resultados, com o do evento do dia 08/11/13.

Para o evento do dia 08/01/13, foram obtidos os resultados mostrados nas Figura 5-130 a Figura 5-133. Nesses gráficos percebe-se que a simulação da concentração de DQO foi subestimada em relação aos dados observados, mas o comportamento no geral foi bom, com o coeficiente de correlação de 0,74. Quando analisado a carga de DQO o resultado foi melhor, já perceptível visualmente, com um  $R^2$  de 0,94.

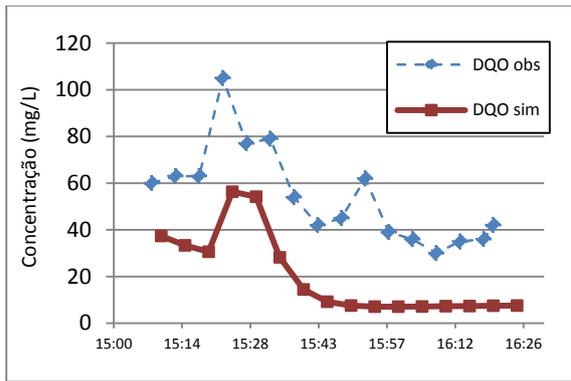


Figura 5-130. Validação das concentrações de DQO para o evento do dia 08/01/13.

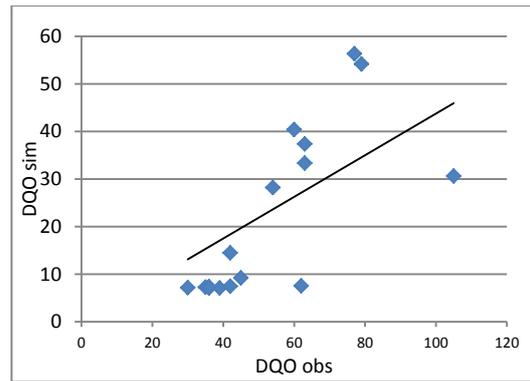


Figura 5-131. Correlação entre a a CDQObs e CDQOsim para o evento do dia 08/01/13.

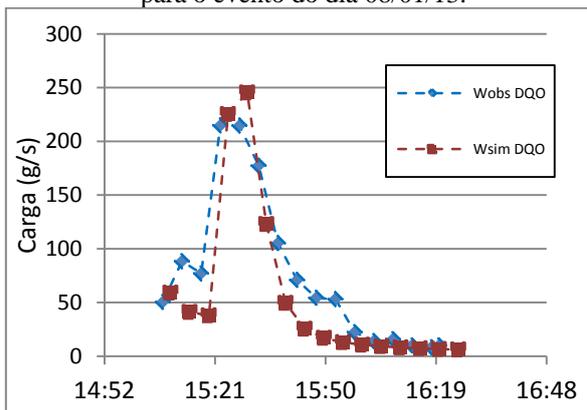


Figura 5-132. Validação das cargas de DQO para o evento do dia 08/01/13.

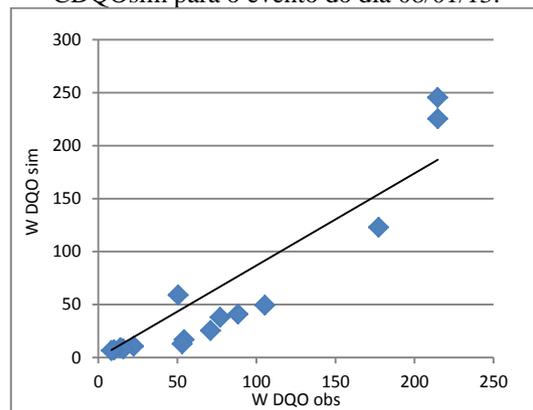


Figura 5-133. Correlação entre as W de DQO do evento do dia 08/01/13.

Embora tenha sido obtida essa boa aderência entre os valores simulados e observados, esse bom resultado não se repetiu em outros eventos, até mesmo nos eventos cuja simulação chuva-vazão foi considerada boa. Isso porque a coleta de amostras de qualidade da água é discreta, e se durante essa amostragem não houve uma boa correlação entre as vazões simuladas e as observadas naquele período, a simulação da qualidade também não obteria bons resultados.

Assim o evento acima exemplificado foi uma exceção, visto que o bom resultado foi atribuído justamente a boa calibração da vazão exatamente no período de amostragem da qualidade da água.

Com isso, infere-se que esses resultados são iniciais, sendo necessária a realização de outro período de monitoramento e mais estudos, para que o modelo torne-se confiável para a simulação da DQO.

### 5.7.2. Modelagem dos SS

Para a modelagem dos SS foi realizando o mesmo procedimento que com a DQO, e inicialmente foi determinada a curva-chave empírica dos SS em função da vazão, conforme Figura 5-134. Com a equação obtida foi realizada a simulação dos SS sem a calibração do modelo e os resultados estão expostos nas Figura 5-135 a Figura 5-137, onde os dados foram comparados com os observados.

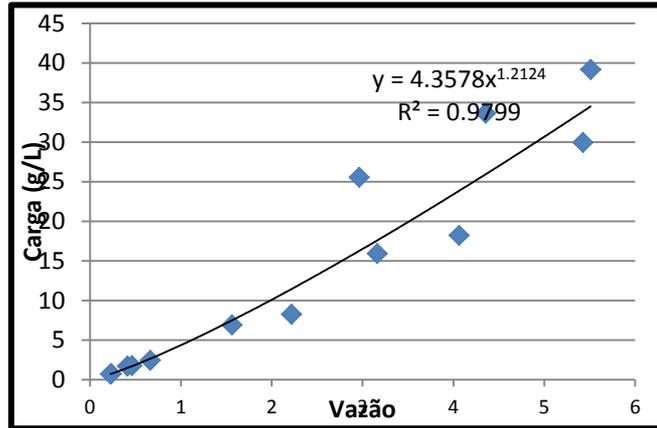


Figura 5-134. Curva-chave empírica da DQO para o evento do dia 19/01/13 na sub-bacia do C.O.

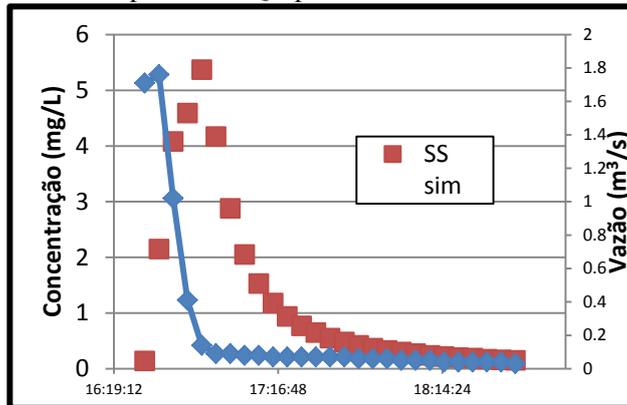


Figura 5-135. Polutograma dos SS e Hidrograma simulados para o evento do dia 19/01/13.

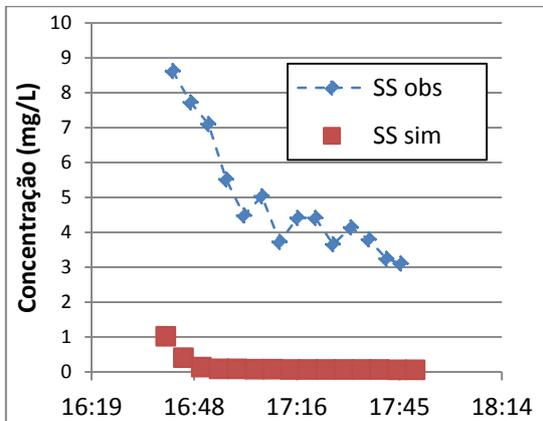


Figura 5-136. Polutograma dos SS sim e SS obs.

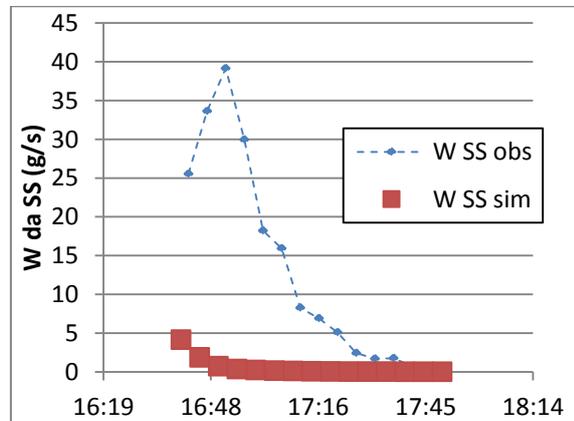


Figura 5-137. Comparação da W SS sim e a W SS obs.

Os resultados simulados são bastante divergentes quando comparados com os dados observados, como pode ser verificado nas figuras acima, retratando a dificuldade em simular o comportamento desses poluentes.

Foram realizadas diversas tentativas de calibração para melhorar a qualidade de simulação desse poluente, mas não foram alcançados resultados significativos. Essa dificuldade em modelar os SS ocorre devido a dinâmica que o uso do solo está sujeito, refletida na qualidade da água e que talvez não seja acompanhada pelas opções de modelagem do SWMM, que se utilizam de equação de acumulação e lavagem.

Assim, estudos mais detalhados sobre o comportamento dos SS durante os eventos de chuva são recomendados para a obtenção de resultados mais conclusivos.

## 6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O monitoramento quali-quantitativo das águas de drenagem urbana em duas sub-bacias na Bacia do Lago Paranoá foi realizado com sucesso. As amostras de qualidade da água coletadas e os dados de precipitação e vazão permitiram a identificação de fenômenos como os das ondas de cheia nas galerias e o comportamento das concentrações dos poluentes nessas águas.

A utilização do amostrador automático como o auxílio do sensor de nível se mostrou eficiente, sendo capaz de coletar as primeiras amostras dos eventos de chuva e com isso confirmar o fenômeno da lavagem inicial das cargas. Além do mais, a discretização a cada 5 minutos permitiu compreender a variabilidade desse parâmetro dentro da onda de cheia, analisando também se haveria ou não a presença de esgotos domésticos na galeria de drenagem.

O local de instalação dos equipamentos também foi satisfatório, pois os mesmos localizavam-se ao final da rede de drenagem amostrando todos os poluentes carreados na sub-bacia. Porém, para uma melhor análise da influência do uso e ocupação, deve se realizar amostragens em diferentes pontos, pois como a cidade de Brasília é particionada em setores seria possível à identificação das cargas por uso e ocupação. Sabe-se que é um trabalho difícil e que exigiria muitos recursos.

A frequência de amostragem por evento é bastante complicada de se colocar em prática, e para determinar um padrão dos eventos mais significativos, sugere-se o recolhimento de no mínimo seis amostras de qualidade de água para representar um evento chuvoso. Porque uma quantidade menor de dados prejudicaria na análise dos resultados, como os das cargas dos poluentes.

A estratégia de implantação de um grande número de pluviógrafos nas sub-bacias mostrou-se fundamental por ter confirmado a grande variabilidade espacial nas bacias urbanas e foi possível verificar que a concentração da chuva em uma determinada região influencia na qualidade das águas de drenagem pluvial. Além disso, esses dados permitiram resultados satisfatórios na modelagem chuva-vazão.

No monitoramento da vazão, os linígrafos de boia foram satisfatórios para contabilizar a cota de água que atravessa na galeria, mas para a determinação da vazão a curva-chave da galeria é fundamental. Por isso, recomenda-se uso do ADCP na para a galeria do Iate para encontrar a correlação cota-vazão e com isso tornar os dados de cargas mais confiáveis.

Para as variáveis de qualidade da água, a medição da temperatura foi prejudicada por não ter sido realizada no local, indicando a necessidade de instalação de um sensor com os respectivos registros.

Com a medição da turbidez e dos sólidos encontrou-se a correlação dessa variável com a vazão, sendo um fator muito importante o número de dias sem chuva antecedentes ao evento, pois, quanto maior o período de acumulação, maior a turbidez. O uso e ocupação mostrou-se também uma característica determinante com base nas diferenças entre as duas sub-bacias monitoradas que levaram a resultados diferentes, atribuído a grande movimentação ocorrida da sub-bacia do Iate.

O uso e ocupação e o número de dias antecedentes sem chuva também se mostraram importantes na análise da carga de sólidos dissolvidos e nutrientes produzidos pelas sub-bacias.

A ocorrência de lançamentos clandestinos de esgotos na rede de drenagem foi detectada pela presença de amônia nas águas e podem estar ligada a estabelecimentos comerciais, pois nos finais de semana e após o recesso natalino e de fim de ano e, a incidência de nutrientes e matéria orgânica eram menores.

Confirma-se a complexidade dos estudos da qualidade da água de drenagem urbana, principalmente devido ao grande número de parâmetros envolvidos. Os mais expressivos são os números de dias secos antecedentes, visto que esse fato promove a acumulação de poluentes no solo; a distribuição espacial e intensidade das precipitações, pois se a chuva foi mais concentrada em uma determinada área com certo tipo de uso e ocupação a qualidade da água pode ter características diferentes; o volume de água escoado, pois isso influencia no transporte de poluentes como também no grau

de diluição dessas águas; e a presença de ligações de esgoto na galeria de drenagem pluvial, que gera carga de nutrientes significativas.

Recomenda-se monitorar outros parâmetros de qualidade no monitoramento de águas urbanas, como o pH para um melhor entendimento das reações das formas de nitrogênio, DBO e óleos e graxas, onde se indica a realização da medição em pelo menos duas amostras por evento para medir a biodegradabilidade da M.O.

Quanto à utilização de equipamentos automáticos para a determinação de algumas características de qualidade da água, constatou-se que o uso do turbidímetro pode fornecer bons conhecimentos dos SS que estão sendo lançados no Lago Paranoá, e que esses dados não apresentavam boa relação com a vazão.

Já a utilização de condutivímetro necessitaria de mais dados para comprovar a ligação dos mesmos com os sólidos dissolvidos e conseqüentemente com os nutrientes que se encontram na forma de íons dissolvidos. Para dados mais conclusivos, sugere-se a realização do monitoramento de cloreto, que é um íon que pode alterar os valores da condutividade e é encontrado nas águas residuárias e no chorume do lixo.

As cargas de poluição difusa oriundas do sistema de drenagem na Asa Norte nos meses de novembro e janeiro podem ser mais significativas do que a cargas lançadas pelo efluente tratado da ETE que recebe o esgoto doméstico desse bairro. Sendo necessário que as autoridades responsáveis implementem medidas para conter esse tipo de poluição.

A análise do fenômeno do “*first flush*” para os eventos mais significativos de cargas de N. P, DQO e SS nas duas sub-bacias se mostrou importante para identificar a distribuição das cargas,

visto que já existem estudos para a implantação de bacias de retenção próximo aos exutórios dessas sub-bacias. Essas medidas estruturais podem ser interessante desde que seu dimensionamento considere características da qualidade das águas das descargas.

Avaliando a aplicação do modelo SWMM para a simulação chuva-vazão, foi possível notar que o programa responde bem aos fenômenos nas galerias de drenagem pluvial, conseguindo representar os fenômenos hidráulicos e hidrológicos que ocorrem na bacia em estudo.

Além disso, percebeu-se que quando calibrado, o modelo aplica-se bem a eventos cujos coeficientes de escoamento são semelhantes. Porém, quando esses coeficientes são diferentes percebe-se uma dificuldade no modelo de Infiltração, que no caso utilizou-se o método SCS. Assim, sugere-se uma calibração envolvendo mais parâmetros do modelo, principalmente aqueles relacionados a precipitação antecedente e infiltração inicial. Pode ser interessante analisar a utilização de diferentes conjuntos de parâmetros em função da intensidade e duração das precipitações.

Quanto à modelagem das cargas dos poluentes, mais estudos necessitam ser elaborados para a aplicação do modelo SWMM, mas provou-se que modelo com vazões calibradas, responde bem a simulação das cargas de DQO.

## REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas (Brasil) e Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. (2011). *Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos*. Brasília-DF. 154 p.
- Araújo, S. C. S. (2005). *Modelos de simulação baseados em raciocínio qualitativo para Avaliação da Qualidade da água em Bacias Hidrográficas*. Tese de doutorado, Universidade de Brasília, Departamento de Ecologia, Brasília – DF, 218p.
- Ahlman,S.(2006). Modelling of Substance Flows in Urban Drainage Systems. Thesis For The Degree Of Doctor of Department of Civil and Environmental Engineering. Chalmers University Of Technology. Göteborg, Sweden. 90p.
- Alvarez, R.P.P. (2010). *Estudo Experimental e Teorico da qualidade de água de drenagem urbana com base ec hidrológica*. Dissertação de Mestrado EESC. São Carlos, SP. 239p.
- Amorim, R. R. (2012). Monitoramento hidrológico e qualitativo das águas nas bacias do Paranoá e descoberto – estudo de caso sub-bacias urbana do lago Paranoá. Relatório de Iniciação científica PIBIC.
- APHA, AWWA e WPCF. (1985). Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater, 16a Edição, AWA, Washington, EUA.
- Aprígio, P. O.; Brandão, J.L.B. (2011). “Modelos Hidrológicos Para Simulação Da Poluição Difusa”. *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Maceió-AL.
- Baird, C., Jennings, M.(1996). Characterization of Nonpoint Sources and Loadings to the Corpus Christi Bay National Estuary Program Study Area, Texas Natura Resource Conservation Commission.
- Baptista, M. B.; Nascimento, N. O.;Barraud,S. (2005)Técnicas compensatórias em drenagem urbana. 1 ed. Porto Alegre: ABRH.
- Bastos, G. A.P. (2007). Análise Dos Parâmetros Do Modelo Swmm Para Avaliação Do Escoamento Em Duas Bacias Periurbanas Em Santa Maria-Rs. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS).
- Beling, F. A.; Garcia, J. I. B.; Paiva, E. M. C. D.; Bastos, G. A. P; Paiva, J. B. D. “Analysis of the SWMM Model Parameters for Runoff Evaluation in Periurban Basins from Southern Brazil.” *Anais do 12nd International Conference on Urban Drainage*. Porto Alegre/Brasil.
- Bertrand-Krajewski, J.L.; Chebbo, G.; Saget, A. (1998). Distribution of pollutant mass vs volume in Stormwater discharges and the first flush Phenomenon. *Water Resource*. v. 32. n. 8, p. 2341-2356.
- Blumensaat, F.; Stauer, P.;Heusch, S.; Reußner, F.; Schütze, M.; Seiffert, S.; Gruber, G.; Zawilski, M.; Rieckermann, J. (2011). “Water quality based assessment of urban drainage impacts in Europe – where do we stand today?”. *Anais do 12<sup>nd</sup> International Conference on Urban Drainage*. Porto Alegre/Brasil.

- Bonumá, N.B.; Gastaldini, M.C.C.; Paiva, J. B. D. (2008). “Análise da Carga Difusa de Poluição Gerada por Atividades de Mineração”. *RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. **13** (3) Jul/Set 2008, 105-115.
- BRASIL. Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA nº 430, de 2011. Condições e padrões de lançamento de efluentes. Publicação DOU nº 92, de 16/05/2011, pág. 89.
- BRASIL. Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA nº 357. Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu Enquadramento. Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63.
- BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de Janeiro de 2007. Diretrizes nacionais para o Saneamento Básico. Publicado no DOU de 8.1.2007 e retificado no DOU de 11.1.2007.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos. Publicado no D.O de 09.01.1997, seção 1, p. 470, v. 135, n. 6.
- BRASIL. Portaria nº 2.914, de 12 de Dezembro de 2011. Ministério da Saúde. procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Republicada no Diário Oficial da União Nº 3, de 4 de janeiro de 2012.
- BRASÍLIA. Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB. (2012). Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal-Siesg. 25ª edição. 179 pg.
- BRASÍLIA. Resolução nº 009, de 08 de abril de 2011. Estabelece os procedimentos gerais para requerimento e obtenção de outorga de lançamento de águas pluviais em corpos hídricos de domínio do Distrito Federal e naqueles delegados pela União e Estados.
- Brites, A.N.Z.; Gastaldini, M.A.A. (2005). “Avaliação Da Carga Difusa Da Drenagem Pluvial Urbana Na Bacia Hidrográfica Cancela”. *Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Campo Grande.
- Choi, S. C.; Jung, D. I.; Won, C. H.; Rim, J. M. (2006). Calculation of Intercepted Volume of Sewer Overflows: a Model for Control of Nonpoint Pollution Sources in Urban Areas. *Journal of Ocean University of China (Oceanic and Coastal Sea Research)* Vol.5, No.4, pp.317-321.
- Christofoletti, A. (1999). Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo: Edgard Blücher. 236p.
- 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. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- Dafico, C. C. (2011). Inundação do Instituto Central de Ciências: Estudo de Caso e Proposição de Medidas. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 112 p.
- Derísio, J. C. (1992). Introdução ao controle de poluição ambiental. São Paulo-SP. CETESB.

- Distrito Federal, Secretaria de Estado de Obras. (2008). Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal. Brasília: Concremat Engenharia.
- Dornelles, T.F. (2003). Análise da alteração do uso do solo em bacias hidrográficas. Dissertação de mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS. 164p.
- Ferrante J.E.T., Rancan L., Netto P.B. (2001). Meio Físico In: Fonseca, F. O. Olhares sobre o Lago Paranoá, Brasília – DF: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, SEMARH 2001, 1ª edição.
- Ferreira, L. C. A.. (2008). Variação da qualidade da água do escoamento superficial de duas bacias de drenagem de Natal/RN - Brasil / Leonete Cristina de Araújo Ferreira. – Natal, RN, 119 f.
- Fonseca, F. O. Olhares sobre o Lago Paranoá. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH, Brasília-DF. (2001). 425 p.
- Finotti, A. R.; Finkler, R.; Silva, M.D.; Cemin, G. (2009). Monitoramento de recursos hídricos em áreas urbanas. Caxias do Sul – RS.272p.
- Garcia, J.I.B.(2005). Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia hidrográfica do arroio cancela. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de Santa Maria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 169p.
- Gironás, G; Roesner, L.A.; Davis, J. (2009). Storm water management model Applications manual. U.S. Environmental protection agency.
- Gomes, V. M. (2004). Aspectos qualitativos e Quantitativos da água de drenagem pluvial em sub-bacia urbana na cidade de Brasília-DF. Dissertação de Mestrado da Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
- Hatt, E.B.;Fletcher, T.D.; Walsh, C.J.; Taylor, S.L.(2004). The Influence of Urban Density and Drainage Infrastructure on the Concentrations and Loads of Pollutants in Small Streams. Environmental Management Vol. 34, No. 1, pp. 112–124.
- Hong, B.; Limburg, K.E. ; Hall, M.H.; Mountraki,G., Groffman, P.M.; Hyde, K.; Luo, L.; Kelly, V.R.; Myers, S.J. (2012). “An integrated monitoring/modeling framework for assessing human-nature interactions in urbanizing watersheds: Wappinger and Onondaga Creek watersheds, New York, USA.” Environmental Modelling & Software 32 (2012) 1e15.
- Jha, M. K., Jeffrey G. A.;Gassman, P. W..(2006).Water Quality Modeling for the Raccoon River Watershed Using SWAT. “CARD Working Paper 06-WP 428”. Center for Agricultural and Rural Development. Iowa.
- Jordão, E. P. e Pessoa, C. A. (1995). *Tratamento de Esgotos Domésticos*. ABES. 3a edição. Rio de Janeiro. 720p.
- Kim, K. U.; Park, S. W.; Shin, S. H.; Hwang, H. S. ; Jeon, T. G. ; Kim, C. S. (2007).Construction of a Real-time Urban Inundation Analysis System based on UIS using SWMM. Anais do Fifth International Conference on Software Engineering Research, Management and Applications.

- Lee, J.H.; Bang, K.W.; L.H., Ketchum, Ketchum, Choe, J.S.; Yu, M.J. First flush analysis of urban storm runoff. (2002). *The Science of the Total Environment* 293 163–175.
- Lima, J. B.M. (2004). Estudo de Redes de Monitoramento de Qualidade das Águas Superficiais – o Caso da Bacia do Rio Descoberto. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. 112p.
- Lopes, G.R. (2010). Estudos hidrológicos e hidrossedimentológicos na bacia do córrego do capão comprido, DF. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
- Lowe, S. A. (2009). Sanitary Sewer Design Using EPA Storm Water Management Model (SWMM). Wiley Periodicals, Inc. *Comput Appl Eng Educ* 18: 203\_212, 2010.
- Maidment, D.R. (Editor Chef). (1992). *Handbook of Hydrology*.
- Mello, N.A. (2006). “Relação entre a fração mineral do solo e de qualidade de sedimentos – o solo como fonte de sedimentos”. In: Poletto, C. e Merten, G.H (organizadores). *Qualidade dos sedimentos. ABRH*. 397 p.
- Menezes, P.H.J. (2010). Avaliação do efeito das ações antrópicas no Processo de escoamento superficial e Assoreamento na bacia do lago Paranoá. Dissertação De Mestrado. Universidade de Brasília – UnB do Instituto de Geociências – IG.
- Meng, Q ; Lee, M. (2011). GIS-based Simulation of Urban Drainage. Published in: *Bioinformatics and Biomedical Engineering, (iCBBE) 2011 5th International Conference on*.
- Merten, G.H.;Poletto, C. (2006). “Rede de Monitoramento e coleta de Amostras”. In: Poletto, C. e Merten, G.H (organizadores). *Qualidade dos sedimentos. ABRH*. 397 p.
- Minella, J.P.G.e Merten, G.H. (2006). “Aplicação das Características químicas e físicas dos sedimentos na modelagem dos processos de emissão de sedimentos em bacias hidrográficas”. In: Poletto, C. e Merten, G.H (organizadores). *Qualidade dos sedimentos. ABRH*. 397 p.
- Ministério das Cidades - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (Brasil). (2011) *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2009.– Brasília*. 616p.
- 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, 118 p.
- Neves, M.G.P.; Peplau, G.G.; Souza, V.C.B. (2008). Simulações Hidrológico-Hidrodinâmicas De Alternativas Para Mitigação De Problemas De Drenagem Urbana Em Maceió – Al. *Anais do IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*.
- NOVACAP – Companhia Urbanizadora da Nova Capital. Termo de Referência e Especificações para Elaboração de Projetos de Sistema de Drenagem Pluvial.(2005). Brasília: NOVACAP-DU-DEINFRA.

- Novotny, V.; Chesters, G. (1991). *Handbook of Nonpoint Pollution: Sources and Management*. New York, NY: Van Nost and Reinhold Company, 1981. 545 p.
- Pelaéz-Rodrigues, M.(2001). Avaliação da qualidade da água da bacia do Alto Jacaré-Guaçu / SP (Ribeirão do Feijão e Rio do Monjolinho) através de variáveis físicas, químicas e biológicas. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Piveli, R.P.; Kaito, M.T. (2005). *Qualidade da água e poluição: aspectos físicos-químico*. São Paulo. ABES.
- Pimentel, I.M.C. (2009). Avaliação quali-quantitativa das águas do riacho Reginaldo e seus efluentes. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de Alagoas.
- Poleto, C.; Merten, G.H.(2006). Otimização do uso de metodologia de digestão ácida Total de sedimentos para a identificação de fontes de Sedimentos urbanos. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - São Paulo.
- Poleto, C. (2007). Fontes Potenciais E Qualidade Dos Sedimentos Fluviais Em Suspensão Em Ambiente Urbano. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 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*. 1995. ABRH. Porto Alegre-RS.
- Poustie M.S; Brown, R.R.;Deletic, A.(2011). “Receptivity to sustainable urban water management in the Pacific”. *Anais do 12<sup>nd</sup> International Conference on Urban Drainage*. Porto Alegre/Brasil.
- Preuss, S.L.C.; Silva, A.A.S.; Braga, R.A.P.; Cabral, J.J.S.P. (2011) “Adequação Estrutural E Ambiental Para A Drenagem Urbana Sustentável: O Caso Do Recife, Pernambuco.” *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Maceió-AL.
- Prodanoff, J. H. (2005). A. Avaliação da Poluição Difusa Gerada por Enxurradas em Meio Urbano. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. 276p.
- Rebouças, A. C.; Braga, B.; Tindisi J.G. Águas Doces no Brasil, capital ecológico, uso e conservação.. Editora Escrituras. 3ª Edição. São Paulo. 2006.
- Risk Management Water Reserch - Storm Water Management Model (SWMM)- <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm/>. Acessado em 21 de março de 2012, as 9:16.
- 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.
- Rossman, L. A. Storm water management model User’s manual Version 5.0. Cincinnati: U. S. Enviromental Protection Agency, 2010. 285 p.
- Santos, D.R. dos; Silva, L.S. da; Kaminski, J.; Ceretta, C.A e Santos, M.A. S. dos. (2006). Poluentes Orgânicos e Inorgânicos. In: Poleto, C. e Merten, G.H (organizadores). *Qualidade dos sedimentos*. ABRH. 397 p.

- Seibt, A.C.; Silva, T.M.F.; Formiga, K.T.M.(2011). Avaliação do impacto da rede de drenagem da bacia hidrográfica do córrego serrinha, em goiânia (go) empregando o storm water management model - swmm. *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió-AL.*
- Shima, T. (2011). Calibração multiobjetivo do SWMM aplicada à transformação chuva-vazão. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- Sítio do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Paranoá. <http://www.cbhparanoa.df.gov.br/mapas.asp> acessado no dia 18 de fevereiro de 2012 às 20:11.
- Silva, A.H.C.L. (2009). Controle da poluição difusa de Origem pluvial em uma via de tráfego Intenso por meio de trincheira de Infiltração e vala de retenção. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- Silva Junior, J.A. (2010). Estudo da eficiência do manejo de águas pluviais urbanas na mitigação dos impactos de ocupação do solo.135 pg. Exame de qualificação (Doutorado em Engenharia Civil - não publicado). Universidade de Brasília, Brasília.
- Smaha, N. e Gobbi, M. F. (2003). “Implementação de um modelo para simular a eutrofização do reservatório Passaúna – Curitiba– PR”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. 8(3), 59 – 69.
- Souza, D.; Motta, D.M., Silveira A. (2011). Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment in a small urban-rural basin within high resolution GIS R. *Anais do 12nd International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre/Brazil.*
- Temprano, J.; Arango, O.; Cagio, J. Suarez, J. e Tejero, I.(2006). “Stormwater quality calibration by SWMM: A case study in Northern Spain”. *Water SA* 32 (1): 55-63.
- Tomaz, L.D. (2011). Modelagem dinâmica espacial do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Lago Paranoá-DF: 1998 – 2020. Dissertação de mestrado do programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicada na UnB. Brasília-DF.
- Tucci, C.E.M. (2005a). “Gestão de águas pluviais urbanas”. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília. Ministério das Cidades. Saneamento para todos, 4 volume.
- Tucci, C.E.M. (2005b). Modelos hidrológicos. ABRH, Porto Alegre-RS.
- Uzeika, T. (2009). Aplicabilidade do modelo SWAT (soil and water assessment tool) na simulação da produção de sedimentos em uma pequena bacia Hidrográfica rural. Dissertação de mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS. 144p.
- Vieira, P.C. (2008). Avaliação das condições de qualidade da água em tempo seco e durante eventos de chuvas em uma microbacia urbanizada no município de Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

- 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.
- Wang, K. e Altunkaynak, A.M. (2012). Comparative Case Study of Rainfall-Runoff Modeling between SWMM and Fuzzy Logic Approach. Journal of hydrologic engineering. Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 17, No. 2.
- Warwick, B.J.J. e Tadepalli, P. (1990). Efficacy of SWMM Application. This paper is part of the Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 117, No. 3, May/June.
- Woods-Ballard, B; Kellagher, R; Martin, P; Jefferies, C; Bray, R; Shaffer, P. (2007). The SUDS manual. Ciria.
- Wong, T.H.F. (2011). “Framework For Stormwater Quality Management In Singapore”. *Anais do 12<sup>nd</sup> International Conference on Urban Drainage*. Porto Alegre/Brasil.
- WMO, World Meteorological Organization (1994). Guide to Hydrological Practices. WMO no. 168, Fifth edition. Geneve, Switzerland.
- Zhang, Z.; Fukushima, T.; Onda, Y., Mizugaki, S.; Gomib, T.; Kosugid, K.; Hiramatsue S.; Kitaharae, H.; Kurajif, K.; Terajimag, T., Matsushige, K.; Taa, F. (2008). Characterisation of diffuse pollutions from forested watersheds in Japan during storm events — Its association with rainfall and watershed features. *Science of the total environment* 390, 215 – 226.
- Zoppou, C. Review of urban storm water models. *Environmental Modelling & Software*. 16, p. 195–231, 2001.