

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA DO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL URBANO: ESTUDO DE CASO ASA NORTE,
BRASÍLIA - DF**

**ANA LUÍSA QUEIROZ ESPINDOLA
BÁRBARA MARIA ALBUQUERQUE DALDEGAN**

ORIENTADOR: NESTOR ALDO CAMPANA

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA
AMBIENTAL**

**BRASÍLIA / DF: JULHO/2016
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

DATA: BRASÍLIA/DF, 01 de JULHO de 2016.

FICHA CATALOGRÁFICA

ESPINDOLA, ANA LUÍSA QUEIROZ

DALDEGAN, BÁRBARA MARIA ALBUQUERQUE

Análise quali-quantitativa do escoamento superficial urbano. Estudo de caso: Asa Norte Brasília - DF [Distrito Federal] 2015.

viii, 80 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2016)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Drenagem urbana 2. Poluição difusa

3. Qualidade de água pluvial 4. Poluição de corpos d'água

I. ENC/FT/UnB

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ESPINDOLA, A. L. Q, DALDEGAN B. M. A. (2016). Análise quali-quantitativa do escoamento superficial urbano. Estudo de caso: Asa Norte Brasília - DF Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 71 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Ana Luísa Queiroz Espindola

Bárbara Maria Albuquerque Daldegan

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Análise quali-quantitativa do escoamento superficial urbano. Estudo de caso: Asa Norte Brasília - DF GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2016

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

Ana Luísa Queiroz Espindola
SHIS QI 15 conj. 13 casa 08
71.635-330 - Brasília/DF – Brasil

Bárbara Maria Albuquerque Daldegan
Condomínio Jardim Botânico VI CJ B 25
71.680-369 – Brasília/DF - Brasil

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	viii
1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVO	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
3.1 DRENAGEM URBANA NO BRASIL.....	13
3.2 CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	16
3.2.1 Medidas de controle na fonte	19
3.2.2 Medidas de controle na macro e microdrenagem.....	19
3.2.3 Medidas de infiltração e percolação	19
3.4 CONTROLE QUALITATIVO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	24
3.5 IMPACTO DO LANÇAMENTO DA DRENAGEM PLUVIAL NA QUALIDADE DOS CORPOS RECEPTORES	26
3.6 PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA A ANÁLISE DA QUALIDADE DO ESCOAMENTO PLUVIAL URBANO	31
3.7 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DAS CARGAS POLUIDORAS	34
3.7.1 Unidade de Carga	35
3.7.3 Model XP-Aqualm.....	36
3.7.4 Modelo Moneris	37
3.7.5 Concentração Média do Evento	37
3.7.6 Concentração Média do Local.....	38
3.7.7 Massa Específica do Evento	38
3.7.8 Polutograma.....	38
4. METODOLOGIA	40
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	41
4.2 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DO PROJETO	41
4.2.1 Etapa 1: Definição dos locais de monitoramento	41
4.2.2 Etapa 2: Amostragem da água de drenagem urbana	42
4.2.3 Etapa 3: Análise de resultados – Métodos para avaliação das cargas poluidoras	46
4.2.4 Etapa 4: Caracterização quali-quantitativa do escoamento superficial.....	47
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	47
5.1. Definição dos locais de monitoramento.....	47
5.1. Condições hidrológicas do período monitorado	50

5.2. SETOR COMERCIAL NORTE	50
5.2.1 Qualidade	51
5.2.2. Vazão	52
5.2.3. Polutogramas	53
5.2.4. Concentração Média de Evento	56
5.3. ENTREQUADRA NORTE 402/403	58
5.3.1 Qualidade	60
5.3.2 Vazão	61
5.3.3 Polutogramas	62
5.3.4 Concentração Média de Evento após o pico - CMEap	65
5.4. SUPERQUADRA NORTE 202	66
5.5. COMPARAÇÃO ENTRE ÁREAS	68
5.6 ENQUADRAMENTO E PARÂMETROS	73
5.7 ANÁLISE DE METAIS	74
5.8 ANÁLISE DA CHUVA	75
6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Níveis de impermeabilização na área urbana.	14
Figura 3.2 Fontes de poluição do espaço urbano. (Silva, 2014).....	22
Figura 3.3 - Separador Centrípeto (MACIEL, 2003).....	25
Figura 3.4 - Evolução do escoamento superficial na bacia do lago Paranoá – Menezes (2010)	29
Figura 3.5 - Classificação dos rios no D.F. (Conselho de Recursos Hídricos do D.F.).....	30
Figura 3.6 - Mapeamento das interconexões entre as redes de drenagem pluvial e de esgotos domésticos e industriais (PDDU Distrito Federal, 2008).....	31
Figura 3.7 – Polutograma e Hidrograma.....	39
Figura 4.1 Representação esquemática das etapas metodológicas trabalho.....	40
Figura 4.2 – Sub-bacia do Iate – Brasília – D.F. (Costa, 2013).	41
Figura.4.3 - Representação da sarjeta	44
Figura 5.1 - Área de estudo Setor Comercial Norte	48
Figura 5.2 - Área de estudo CLN 402/403	48
Figura.5.3 - Área de estudo SQN 202.....	49
Figura 5.4 – Evidências de poluição na Superquadra Norte 202.....	49
Figura 5.5 Precipitação durante o período de Agosto de 2013 a Março de 2016 - dados da Estação - Brasília	50
Figura 5.6- Precipitação horária (mm) em 21/01/2016.....	51
Figura.5.7 - Vazão para os eventos chuvosos no Setor Comercial Norte	53
Figura 5.8 – Hidrogramas e polutogramas para o primeiro evento no Setor Comercial Norte.	54
Figura 5.9 - Hidrograma e polutograma de Coliformes no Setor Comercial Norte	55
Figura 5.10 - Hidrograma e polutograma do fósforo no Setor Comercial Norte	55
Figura 5.11- Concentrações Médias de Evento – primeiro evento no Setor Comercial Norte	56
Figura 5.12 - Concentrações Médias de Evento após o pico - Setor Comercial Norte	57
Figura 5.13 - Precipitação horária 20/12/2015 – Estação Caesb - Hidrologia	59
Figura 5.14- Precipitação horária 11/03/2016– Estação Caesb - Hidrologia	59
Figura 5.15 - Vazão de Escoamento Evento 1 – dez/15 – Estação Caesb – Hidrologia.....	61
Figura 5.16 - Vazão de Escoamento Evento 2 – mar/16 – Estação Caesb - Hidrologia.....	61
Figura 5.17 – Hidrogramas e polutogramas para o segundo evento na Entrequadra Norte 403	63
Figura 5.18 - Hidrograma e polutograma para fósforo na Entrequadra Norte 402/403	64
Figura 5.19 - Hidrograma e polutograma para Coliforme na Entrequadra Norte 403.....	64
Figura 5.20 - Vazão para o evento chuvoso na Superquadra Norte 202.....	67
Figura 5.21 - Vazão específica de todos os eventos chuvosos	68
Figura 5.22- Vazão específica do SCN e da 402/403 Norte	69
Figura 5.23 - Vazão específica da 402/403 Norte e da 202 Norte.....	70
Figura 5.24– Obra na semana da coleta de dados na Superquadra Norte 202	72

LISTA DE TABELAS

Tabela-3.1– Concentração média de componentes (Urban Drainage and Flood Control District, 1991).....	27
Tabela 3.2- Produção de carga difusa calculada pelo método da Unidade de Carga (Porto e Silva, 2015).....	35
Tabela 4.1- Datas, locais dos dias de coleta e total precipitado segundo dados da estação Caesb - Hidrologia.	43
Tabela.4.2 - Áreas de contribuição das micro-bacias	46
Tabela.5.1 - Precipitação e tempo de estiagem.	51
Tabela.5.2 - Concentração dos parâmetros.	52
Tabela 5.3 – Concentração média de evento e Concentração média de evento após o pico no Setor Comercial Norte	57
Tabela 5.4 – Precipitação e tempo de estiagem na Entrequadra Norte 402/403.	60
Tabela 5.5 - Concentrações dos parâmetros.	60
Tabela 5.6 – Concentração média de evento após o pico na Entrequadra Norte 402/403	65
Tabela 5.7 - Precipitação e tempo de estiagem na Superquadra Norte 202.	66
Tabela 5.8 - Concentração dos parâmetros na Superquadra Norte 202.	66
Tabela 5.9 – Concentração média de evento na Superquadra Norte 202.....	67
Tabela 5.10 – Concentração média de evento para o Setor Comercial Norte e a Entrequadra Norte 402/403	69
Tabela 5.11 – Concentrações médias de eventos.....	71
Tabela 5.12 - Concentrações dos parâmetros e padrões para os 5 eventos amostrais	73
Tabela 5.13 - Concentração de metais e padrões.....	74
Tabela 5.14 - Resultado da condutividade elétrica da água da chuva em dez bairros da cidade de Lages-SC.....	75
Tabela 5.15 - Parâmetros analisados para chuva	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1- Estágios do desenvolvimento sustentável urbano nos países desenvolvidos (adaptado de Tucci, 2005b).	17
Quadro 3.2- Origem e a natureza dos poluentes (adaptado de Chocat 1997, apud Silva 2009)	23
Quadro 3.3 – Danos potenciais gerados por diferentes impurezas	33
Quadro 4.1 - Metodologias utilizadas para análise dos parâmetros selecionados.....	45

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	38
Equação 2	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal
ANA - Agência Nacional de Águas
APP - Áreas de Preservação Permanente
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
COBRAPE – Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos
CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
Cd - Cádmio
CME - Concentração Média de Evento
CMEap - Concentração Média de Evento após o pico
CML - Concentração Média Local
COT – Carbono Orgânico Total
CRH – Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal
Cu – Cobre
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DF – Distrito Federal
DRURP - Denver Regional Urban Runoff Program
DQO – Demanda Química de Oxigênio
EPA - Environmental Protection Agency
ETA - Estação de Tratamento de Água
GDF - Governo do Distrito Federal
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
MEE – Massa Específica do Evento
NH₄₊ - Íon Amônio
NH₃ - Amônia
NH₃-N - Nitrogênio Amoniacal
NMP - Número Mais Provável
NO₃₋ - Nitrato
NT - Nitrogênio Total
P - Fósforo Total
Pb - Chumbo
PDDU – Plano Diretor de Drenagem Urbana
PMSP – Prefeitura Municipal de São Paulo
PO₄³⁻ - Íon Fosfato
P₂O₅- Pentóxido de Fósforo
SCN – Setor Comercial Norte
SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SS - Sólidos em Suspensão Totais
UC – Unidade de Carga
Zn – Zinco

1.INTRODUÇÃO

O escoamento superficial é o segmento do ciclo hidrológico caracterizado pelo deslocamento da água na superfície da terra e nos cursos d'água naturais. Esse, tem origem fundamentalmente, nas precipitações e do ponto de vista da engenharia, constitui a mais importante das fases do ciclo hidrológico, uma vez que a maioria dos estudos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento (erosão do solo, inundação, etc).

O escoamento superficial é intensificado em ambientes urbanos, onde existem grandes extensões de áreas impermeabilizadas, o que impede a infiltração da água no solo. Um maior grau de urbanização geralmente está relacionado a um aumento do escoamento superficial, não apenas em quantidade, mas também em velocidade, aumentando o volume de água existente no momento de pico da vazão.

A água de escoamento superficial pode ser responsável por alagamentos urbanos, que ocorrem devido à inexistência de um sistema de drenagem urbana ou à má qualidade desse. Os sistemas de drenagem urbana são responsáveis por minimizar o escoamento superficial urbano e, no Brasil, transportar essa água para corpos hídricos próximos. O escoamento superficial em áreas impermeabilizadas, mesmo com a inexistência de um sistema de drenagem, tende a atingir os corpos d'água, que são pontos mais baixos nas bacias.

Antes de atingir um corpo d'água, a água escoada percorre prédios, obras, telhados e ruas, transportando as diversas impurezas existentes nesses locais. Dessa forma, o escoamento superficial urbano é bastante contaminado, e independente dessa contaminação, é liberado nos corpos hídricos sem qualquer tratamento prévio.

A contaminação gerada por essa carga de poluentes é pouco estudada no Brasil, e medidas que minimizam o transporte desta poluição para corpos hídricos também são pouco executadas no país. Existem diversas alternativas para minimizar o transporte de poluentes para corpos hídricos a partir do escoamento urbano, incluindo obras de engenharia e medidas corretivas, como reter

o início do escoamento na boca de lobo, antes que este se dirija à rede de drenagem, além da implantação de legislação e projetos de educação ambiental. Soluções que buscam controlar quantitativamente o escoamento urbano podem ser eficazes também, para a remoção de poluentes.

O controle da poluição gerada pelo escoamento urbano, apesar de muito importante, ainda não é muito reconhecido no Brasil, a legislação vigente, Resolução CONAMA N° 430, de 13 de Maio de 2011, cita padrões de lançamento de efluentes sem especificações para a água de drenagem urbana.

Estudos e propostas de soluções para o problema de poluição e contaminação ainda não são muito frequentes no país devido à uma maior necessidade de se conter os problemas quantitativos gerados pelo escoamento, mas tem se tornado mais significativos ao longo dos últimos anos.

Em Brasília existe uma crescente demanda por água tratada e corpos receptores para a liberação de resíduos tratados e água de drenagem urbana, devido à população de 2.914.830 milhões de habitantes, segundo o IBGE. Devido à essa demanda, está prevista a captação de água do lago Paranoá para o abastecimento de parte do Distrito Federal a partir de 2018. Sendo assim, é importante ressaltar, que os efluentes de 2 estações de tratamento são lançados diretamente no lago, e os de outra estação é lançado em córrego que deságua no lago. A água proveniente da drenagem urbana da parte central da cidade também é lançada diretamente no lago, por isso é de suma importância que sejam realizados estudos mais aprofundados para a classificação do escoamento da drenagem urbana, com o interesse em saber qual o impacto que essa irá causar no Lago Paranoá, se pode haver algum prejuízo significativo na qualidade do corpo hídrico, já que esse será utilizado para abastecimento público.

Outro ponto importante é o enquadramento de corpos hídricos, pois para garantir sua aplicação deve-se conhecer as características do efluente e do escoamento superficial lançado no corpo receptor. Segundo a Agência Nacional de Águas - ANA, o enquadramento é um instrumento de planejamento que estabelece o nível de qualidade a ser alcançado ou mantido ao longo do tempo. O enquadramento busca “assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes

a que forem destinadas” e “diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes” (Art. 9º, lei no 9.433, de 1997).

No Brasil não são apresentados muitos dados referentes à qualidade da água do escoamento superficial apesar da existência de legislações referentes ao lançamento de efluentes e de padrões de qualidade da água. O presente estudo busca coletar informações acerca da qualidade dessa água na região da Asa Norte, em Brasília, no Distrito Federal, como análise exploratória ressaltando a importância desse tipo de pesquisa.

2. OBJETIVO

O objetivo geral do trabalho é caracterizar quali-quantitativamente o escoamento pluvial produzido em ambientes com características urbanas, localizados no Plano Piloto.

Como objetivos específicos destacam-se:

- Identificar as principais fontes de poluição da água em ambiente urbano.
- Selecionar locais apropriados para monitoramento quali-quantitativo do escoamento pluvial urbano.
- Estabelecer correlações entre as concentrações dos poluentes e diversas variáveis definidas como relevantes, tais como tipo de uso/ocupação do solo; intensidade e duração da precipitação; tempo transcorrido desde a última chuva.
- Elaborar polutogramas para estimar a variação temporal da concentração dos poluentes, observando a ocorrência do fenômeno do “Primeiro Fluxo”.
- Relacionar os resultados encontrados de concentrações de poluentes com os parâmetros para lançamento de efluentes segundo a legislação vigente.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 DRENAGEM URBANA NO BRASIL

A drenagem urbana realizada no Brasil durante muito tempo dita como tradicional, buscava drenar as águas de escoamento urbano o mais rápido possível, transportando o escoamento para fora da cidade, o que gera um problema de pico de vazão para jusante da cidade em questão. Atualmente, existe um novo paradigma que busca o amortecimento da vazão escoada e uma maior infiltração da água de drenagem urbana em locais mais próximos à sua origem, sem que sejam geradas interferências à população. (CAMPANA e BERNARDES, 2010)

No Brasil, a coleta de águas residuárias é realizada majoritariamente a partir do sistema separador absoluto, onde os esgotos urbanos e industriais coletados são destinados, a partir de uma rede própria, para uma estação de tratamento de esgoto, enquanto as águas pluviais são encaminhadas diretamente para os corpos d'água. Dados do SNIS (2014), mostram um índice de tratamento de esgoto do país de apenas 39%.

O Brasil, assim como diversos países em desenvolvimento, se encaixa em um quadro de crescente urbanização devido ao crescimento populacional ainda presente no país e um aumento da porcentagem da população vivendo em zonas urbanas. O processo da urbanização, quando ocorre de maneira muito rápida e sem o planejamento adequado pode gerar diversos problemas relacionados ao saneamento urbano. O aumento da densidade das cidades muitas vezes leva a uma maior impermeabilização, o que gera um aumento do escoamento superficial, aumentando e antecipando o pico da vazão, esse fenômeno pode ser observado na Figura 3.1. Quando a urbanização ocorre de forma espontânea e desordenada, a falta de planejamento pode fazer com que não seja previsto um sistema de drenagem urbano adequado (TUCCI, 2005b).

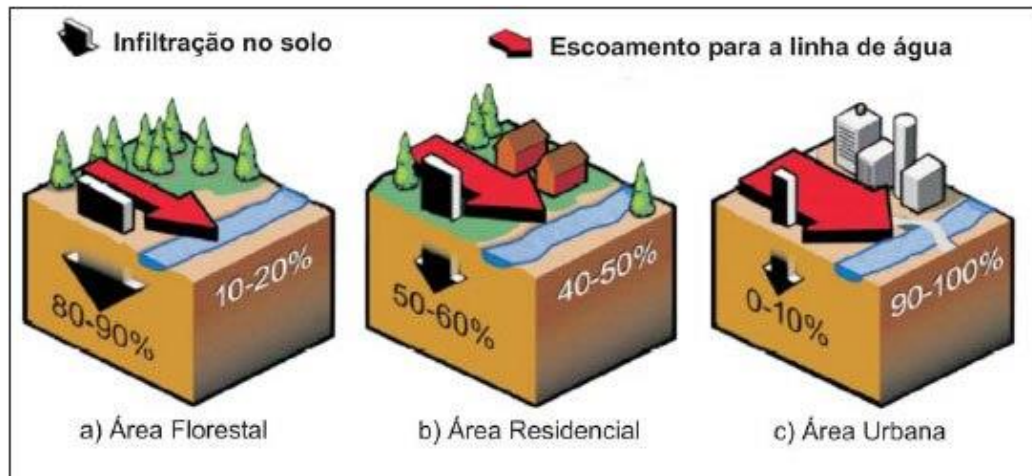


Figura 3.1 – Níveis de impermeabilização na área urbana.

Como o caso da Colônia Agrícola Vicente Pires, que é considerado uma das maiores ocupações de terras públicas no Distrito Federal, antes ilegal e que em setembro de 2015 iniciou o processo de regularização e urbanização da região, publicada no diário oficial do Distrito Federal. Na região existem diversos problemas, ocasionados principalmente devido ao aumento descontrolado da densidade demográfica, entre eles a impermeabilização e a susceptibilidade do solo à erosão, a falta de uma rede de drenagem adequada e o fato de que uma grande quantidade de lotes está localizada em Áreas de Preservação Permanente - APP. Como consequência, o local possui vários eventos de inundações e alagamentos. A ocorrência de enchentes geradas a partir do processo de urbanização é comum. Este fato decorre não apenas do aumento da impermeabilização, mas também da ocupação de áreas ribeirinhas e de várzea, além de sistemas de drenagem urbana deficitários (POMPÊO, 2000).

Em zonas urbanas localizadas próximas ao leito de rios, onde ocorrem eventuais alagamentos, são recorrentes obras de canalização destes rios. Essa intervenção, no entanto, gera um aumento da vazão de cheia e um aumento de sua frequência. O desenvolvimento urbano, impacta o escoamento superficial não apenas quantitativamente, mas também qualitativamente.

Quando o sistema de saneamento urbano não é planejado, os problemas relacionados à drenagem tendem a ser mais significativos. Se apesar de planejados, os sistemas de limpeza e

esgotamento urbanos não forem realizados como previsto, mesmo que a drenagem urbana seja efetiva, uma grande carga de poluentes pode ser carregada para este sistema.

Quando a coleta e disposição dos resíduos sólidos não são adequadas, além de existir uma maior contaminação de água de drenagem devido aos compostos depositados de maneira incorreta, existe também um arraste de material sólido, causando entupimento de bueiros e acúmulo de resíduos nos corpos d'água. Outro agravante em locais com pouco planejamento ou fiscalização, é o despejo inadequado de esgoto urbano, que muitas vezes se conecta, de forma irregular, nos sistemas de drenagem urbana sendo transportado diretamente para os corpos hídricos (TUCCI, 2005b).

No Brasil existe uma carência de planos de drenagem urbana, sendo que poucos dos planos existentes levam em consideração a qualidade dessas águas, o plano mais usado no país é chamado de Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU), que tem como principais objetivos identificar, localizar e conhecer problemas existentes no que diz respeito ao gerenciamento, operação e manutenção da drenagem urbana; caracteriza a situação atual da drenagem urbana da região e propõe melhorias; identifica problemas futuros e estabelece medidas que diminuem os riscos da população em relação a inundações e alagamentos. Segundo o IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008, das vinte e seis capitais do Brasil, cinco possuíam plano diretor de manejo de águas pluviais até a data, são elas: Belo Horizonte, Boa Vista, Fortaleza Natal e Vitória. Os estudos relacionados à geração de poluição a partir do escoamento não são tão significativos, considerando que a maior preocupação ainda se concentra nos problemas relacionados à aspectos quantitativos desse escoamento (GOMES, 2004).

Souza (2013), cita que com raras exceções, as cidades de forma geral tendem a ignorar os cursos d'água na ocupação do espaço, ocupando áreas de várzeas naturalmente alagadiças, e para resolver esse problema que pode gerar inundações e alagamentos, utilizam técnicas hidráulicas de drenagem. Por isso é importante que se faça uma drenagem mais sustentável, com planejamento integrado da bacia, integração entre áreas verdes e espaços de lazer, ações essas que vão estimular a manutenção de áreas permeáveis e evitar a transferência de impactos para jusante.

Pompêo (2000), ressalta a necessidade de propor atividades de saneamento, como limpeza pública de ruas, canalização e tratamento de esgoto e drenagem adequada, juntamente com o próprio planejamento urbano e o zoneamento de atividades, de forma a facilitar a conexão e efetividade dessas ações.

3.2 CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Quando ocorre a saturação da capacidade dos sistemas, tanto naturais como construídos, a chance de ocorrência de inundações aumenta. Para a abordagem desse problema destacam-se as técnicas compensatórias, que são medidas de controle de escoamento aplicadas na bacia hidrográfica. Esse conceito surgiu ao longo das últimas décadas, para compensar impactos da urbanização (Lucas, Sobrinha, Moruzzi e Barbassa, 2015).

Ao longo desses anos o desenvolvimento urbano sofreu diversas modificações. A visão de desenvolvimento sustentável iniciou-se em países desenvolvidos na década de 1990 e continua em construção nos países em desenvolvimento. Os estágios desse processo em países desenvolvidos são apresentados no quadro 3.1.

Quadro 3.1- Estágios do desenvolvimento sustentável urbano nos países desenvolvidos (adaptado de Tucci, 2005b).

Anos	Período	Características
Até 1970	Higienista	Abastecimento de água sem tratamento de esgoto, transferência para jusante do escoamento pluvial por canalização.
1970-1990	Corretivo	Tratamento de esgoto, amortecimento quantitativo da drenagem e controle do impacto da qualidade da água pluvial. Envolve principalmente a atuação sobre os impactos.
A partir de 1990	Sustentável	Planejamento da ocupação do espaço urbano, obedecendo aos mecanismos naturais de escoamento. Controle de micro poluentes, da poluição difusa e o desenvolvimento sustentável do escoamento pluvial através da recuperação.

Os progressos na incorporação de medidas compensatórias aos sistemas tradicionais de drenagem urbana para o controle do escoamento contribuem para a redução de custos de grandes obras. Essas medidas compensatórias buscam armazenar temporariamente as águas pluviais ou facilitar a sua infiltração, minimizando o escoamento superficial (GOMES, 2004).

Quando se tratando de medidas de controle do escoamento superficial, essas podem ser classificadas como medidas estruturais ou não-estruturais. As medidas classificadas como estruturais envolvem obras de engenharia, enquanto as medidas não-estruturais se referem principalmente a políticas, que buscam através da legislação ou medidas educativas minimizar os possíveis danos causados pelo escoamento superficial urbano (Prefeitura Municipal de São Paulo - PMSP, 1999). Em relação ao controle de cheias, as medidas adotadas podem ser preventivas ou corretivas, as medidas não-estruturais são geralmente preventivas sendo elas referentes aos aspectos quantitativos ou qualitativos. (CAMPANA *et al*, 2007).

As medidas estruturais e não-estruturais devem ser realizadas em conjunto para uma maior eficiência. No Brasil, assim como em outros países em desenvolvimento, medidas estruturais são muito populares devido a exigências da população de que sejam realizadas obras para solucionar problemas de drenagem existentes nas cidades, além de possível desgaste político envolvendo a implantação de medidas não-estruturais.

Para locais que se encontram no início do processo de urbanização, medidas não-estruturais que incluem planos de ocupação e uso do solo, por exemplo, podem ser bastante eficazes. Essas medidas possibilitam o controle dos níveis de impermeabilização, a destinação de áreas para o amortecimento da vazão e a elaboração de um plano de saneamento básico que inclui a execução

adequada de um sistema de drenagem urbana além da correta destinação para esgoto sanitário e resíduos sólidos (TUCCI, 2005a).

Medidas não-estruturais incluem, por exemplo, a criação de leis que limitam a vazão de água pluvial que pode ser transferida para o sistema de drenagem urbana por loteamento. Esse tipo de determinação auxilia na execução e manutenção de medidas estruturais relacionadas ao escoamento. Quando se restringe a quantidade de água que pode entrar no sistema, o loteamento se torna responsável por assegurar uma gestão de águas pluviais que garanta a infiltração ou o amortecimento da vazão gerada no lote. Este tipo de medida depende da população para realizar a manutenção assim como a fiscalização do funcionamento dos projetos, sendo a participação da sociedade indispensável durante os processos decisórios e de implantação desses sistemas. Nesse caso, é necessária uma educação ambiental da população, que seja capaz não apenas de conscientizar, mas mobilizar a participação nesse processo. Vale ressaltar que políticas educativas estão muito relacionadas com a cultura do local, o que pode tornar sua implantação mais lenta (Prefeitura Municipal de São Paulo - PMSP, 1999).

No Distrito Federal, é responsabilidade da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal - ADASA acompanhar o desempenho e o nível das potencialidades do uso das águas pluviais, tendo assim determinado condições específicas de acompanhamento, como forma de relacionar-se com os diferentes níveis de atividades, tendo estabelecido na Resolução N° 09, de 08 de abril de 2011 que:

“Art. 3º O lançamento de águas pluviais que seja efetuado diretamente em corpos hídricos superficiais e que tenha sua vazão proveniente de empreendimento que altere as condições naturais de permeabilidade do solo estará sujeito à outorga prévia e à outorga de lançamento de águas pluviais.

Art. 4º Sem prejuízo de outros critérios legais, a outorga prévia e a outorga de lançamento de águas pluviais em corpos hídricos será estabelecida levando-se em consideração:

I – a vazão máxima gerada pelo empreendimento, considerando-se as chuvas com tempo de recorrência de 10 (dez) anos;

II – as condições de retenção do aumento do escoamento devido ao novo empreendimento;

III – a área máxima a ser impermeabilizada pelo empreendimento.”

Essas determinações são classificadas como medidas não-estruturais, por determinar, a partir de uma legislação, critérios para a que o lançamento de efluentes pelo usuário seja controlado. A legislação determina também, que para a manutenção da qualidade e quantidade da água do corpo receptor, devem ser utilizados, preferencialmente, reservatórios de qualidade e quantidade, que são caracterizados com medidas estruturais.

Tucci (2005a), classifica as medidas de controle do escoamento superficial entre as que são realizadas na fonte, e as que atuam na micro e na macrodrenagem, sendo que as medidas mais comumente utilizadas são as estruturas de infiltração e armazenamento. A utilização dessas estruturas é classificada como medida estrutural, mas também podem ser executadas medidas não-estruturais, que podem variar de políticas locais na comunidade até legislações federais, por exemplo.

3.2.1 Medidas de controle na fonte

Executadas em estacionamentos, parques, passeios e lotes, tem o objetivo de controlar o escoamento em sua origem reduzindo o pico de vazão veiculado para a rede de drenagem, propondo dispositivos de infiltração e de armazenamento temporário (CANHOLI, 2005).

O controle do escoamento quando é gerado evita a transferência do problema de alagamentos e pico de cheia para locais à jusante, além de aumentar eficiência dos sistemas de drenagem desses locais e aprimorar a capacidade de controle de enchentes dos sistemas. Esse conjunto de medidas possui um menor custo de implantação, porém são instaladas em diversos pontos da cidade o que pode aumentar o custo de manutenção, e a ausência dessa pode provocar efeitos imediatos e visíveis, tais como enxurradas e alteração na qualidade da água (Governo do Distrito Federal – GDF, 2008).

3.2.2 Medidas de controle na macro e microdrenagem

Medidas de controle na macro e microdrenagem envolvem aplicações em grandes áreas, de forma que menos sistemas precisam ser implantados, facilitando a administração da construção e manutenção do sistema. Por outro lado, envolvem medidas maiores, que costumam ter um custo maior e podem ser mais difíceis de ser implantados.

Esse tipo de controle pode estar associado, por exemplo, à construção de reservatórios de detenção, à compatibilização com outros sistemas de saneamento e ao planejamento no desenvolvimento da bacia (TUCCI, 2005a).

3.2.3 Medidas de infiltração e percolação

O aumento de áreas impermeabilizadas nos centros urbanos faz com que a quantidade de água escoada aumente assim como sua velocidade. Com a execução de medidas que diminuem a impermeabilização e facilitam a infiltração das águas pluviais no solo, é possível minimizar a vazão do escoamento superficial, além de aumentar a recarga de águas subterrâneas e evitar o

carreamento de poluição e resíduos sólidos para os corpos hídricos. É necessário verificar a possibilidade de implantação desse tipo de medida em cada local, de forma a garantir que o lençol freático não seja contaminado devido a essa implantação. Em locais onde existe uma alta contaminação da água pluvial ou onde o lençol freático está próximo à superfície, a implantação deve ser evitada (TUCCI, 2005a).

A infiltração das águas pluviais, próximo ao seu ponto de origem, busca retomar as condições hidrológicas naturais da bacia, fator positivo em relação ao balanço hídrico do local e à disponibilidade quantitativa e qualitativa de água em diferentes pontos da bacia.

Alguns dispositivos de infiltração são: superfícies e lagoas de infiltração, bacias de percolação, pavimentos e dispositivos hidráulicos permeáveis, todas consideradas medidas estruturais. (CANHOLI, 2005).

3.2.4 Armazenamento

Em locais onde a urbanização ocorreu de forma muito densa, a criação de espaços livres que tenham alta capacidade de infiltração pode demandar áreas muito grandes, o que se torna inviável. Nesses casos, uma solução utilizada é a criação de reservatórios de retenção (reservatório permanentemente preenchido com água) ou detenção (reservatórios que acumulam a água da chuva temporariamente), os quais são muito eficientes na redução dos picos de vazão. Os reservatórios podem ser abertos ou fechados e tem como objetivo reter parte do volume de água (CAMPANA *et al*, 2007).

Esse armazenamento pode ser realizado a partir do controle de entrada de águas pluviais nas redes de drenagem, que pode funcionar de forma a retardar o fluxo de água existente, ou acumular águas pluviais para usos futuros. Esse controle pode acontecer tanto em telhados como em outras áreas impermeabilizadas dos loteamentos (CANHOLI, 2005).

A concepção de obras de detenção evoluiu no sentido de se atingir mais de um objetivo com a execução das mesmas. Sendo assim, obras que buscavam apenas o controle quantitativo do escoamento superficial, passaram a buscar também, objetivos de paisagismo e recreação e posteriormente de melhoria da qualidade da água. (CAMPANA *et al*, 2007).

Alguns sistemas de armazenamento, também classificados como medidas estruturais, são: bacias de retenção, detenção e sedimentação, onde a última é utilizada principalmente para a retenção de sólidos em suspensão e absorção de poluentes (CANHOLI, 2005).

3.3 POLUIÇÃO DA DRENAGEM URBANA

Conforme a Lei nº 6.938/81 art. 3 III que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências, “*entende-se por poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:*

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

A poluição do escoamento urbano é consequência direta da impermeabilização das superfícies e da intensificação das atividades humanas. Esses fatores provocam o acúmulo de poluentes na superfície, que nos eventos de chuva, são lixiviados, incorporados ao escoamento e transportados até os corpos receptores.

Esse tipo de poluição surge principalmente de fontes difusas, que podem ser estacionárias ou móveis. As fontes móveis estão ligadas principalmente aos veículos (decorrente da degradação dos pneus, queima parcial de combustível, desgaste dos freios, vazamentos de óleo lubrificante, etc.). O desgaste e/ou degradação dos pavimentos e do mobiliário urbano e a erosão dos solos são exemplos de fontes estacionárias. São diversas as origens da poluição difusa, como da construção civil, resíduos sólidos descartados de maneira inadequada, resíduos orgânicos de animais, entre outras. As principais fontes poluidoras e os diferentes tipos de poluentes que podem ser encontrados na área urbana são mostrados na figura 3.2:

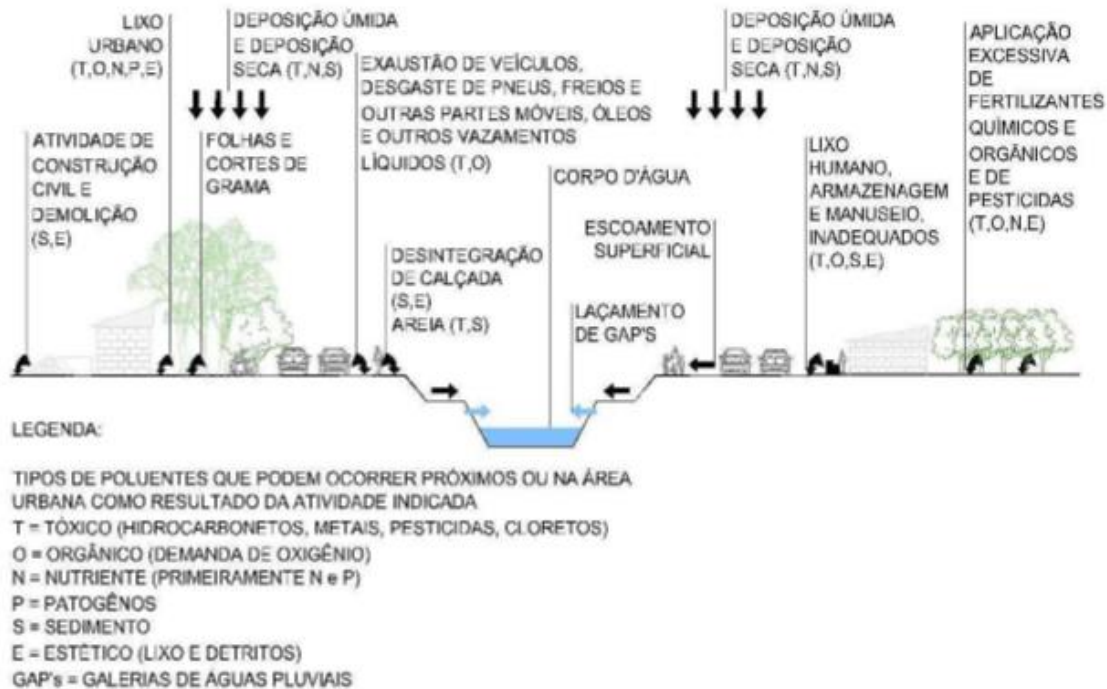


Figura 3.2 Fontes de poluição do espaço urbano. (Silva, 2014)

A poluição difusa está diretamente ligada com o tipo de uso e ocupação do solo, ou seja, a agricultura, urbanização, desmatamento e mineração irão gerar poluições distintas. Em áreas urbanas a poluição difusa pode ser proveniente de residências, parques, meios de transportes, comércio e outros. Já as áreas rurais geram poluição a partir de atividades pecuárias, silvicultura e chácaras.

De acordo com Silva (2014), os níveis de poluição difusa aumentam com a velocidade de escoamento, e o conseqüente potencial de arraste, com isso uma maior concentração de poluentes será carregada até os corpos hídricos. A velocidade de escoamento também muda em função da topografia da bacia, assim bacias com altas declividades apresentam um maior potencial para a geração de cargas difusas, quando comparadas com bacias mais planas, ambas sobre as mesmas condições de uso e ocupação do solo.

De acordo com Silva (2009), uma parte da carga poluidora advinda da precipitação pode ser diretamente atribuída a poluentes atmosféricos, o restante é conseqüência do escoamento sobre a superfície da bacia. No Quadro 3.2 são apresentadas a origem e a natureza dos principais poluentes urbanos.

Quadro 3.2- Origem e a natureza dos poluentes (adaptado de Chocat 1997, apud Silva 2009)

Origem	Natureza dos poluentes
Circulação de automóveis	<ul style="list-style-type: none"> ● Hidrocarbonetos (óleos, graxas e gasolina) ● Metais provenientes do desgaste dos pneus (cádmio, cobre), dos freios (zinco), e de peças metálicas (titânio, cromo, alumínio...) ● Óxido de nitrogênio (gases de escapamento)
Indústria	<ul style="list-style-type: none"> ● Metais (chumbo, cádmio, zinco) ● Resíduos de petróleo e micro poluentes orgânicos lançados sob a forma líquida ou gasosa podendo ser carreados por longas distâncias
Animais	<ul style="list-style-type: none"> ● Matéria orgânica proveniente de dejetos de animais (domésticos ou selvagens) que podem constituir-se em fonte de contaminação bacteriana ou viral
Resíduos sólidos	<ul style="list-style-type: none"> ● Matéria orgânica, plásticos, metais diversos, papéis, etc. lançados diretamente nas bocas de lobo, provenientes da lixiviação das superfícies urbanas pelas águas pluviais, de depósitos ilegais de resíduos sólidos ou de aterros sanitários mal geridos. ● Poeiras contendo diferentes poluentes (em particular, o zinco que provém de usinas de incineração emitindo grandes quantidades de poluentes)
Erosão dos solos, dos pavimentos e em canteiros de obras	<ul style="list-style-type: none"> ● Matéria em suspensão (poluição mineral que pode conter agentes ativos como asfaltos) ● Poluentes provenientes da erosão de pavimentos de vias (elementos procedentes do cimento ou do pavimento das calçadas, das pinturas do pavimento, notadamente o chumbo)
Vegetação	<ul style="list-style-type: none"> ● Matérias carbônicas, mais ou menos biodegradáveis (folhas mortas, polens) ● Nitratos e fosfatos provenientes de adubos ● Compostos organoclorados (pesticidas e herbicidas)

O controle da poluição difusa pode ser feito através do planejamento das redes de drenagem, além da utilização de grades, nas entradas das galerias ou das bocas de lobo, para reter materiais sólidos grosseiros, como plástico, latas e outros (MACIEL, 2003).

Normalmente, as concentrações dos poluentes lixiviados variam em um mesmo evento de precipitação. Os primeiros minutos da precipitação são caracterizados por ser o volume mais preocupante, sendo que nesse momento a concentração dos poluentes também é maior. Esse fenômeno é denominado de “Primeiro Fluxo”, que acontece no período inicial do escoamento, quando a concentração de poluentes é consideravelmente mais alta que aquelas medidas ao longo do tempo. Esse fenômeno está relacionado com a ocorrência do pico da concentração do poluente antes do pico de vazão e confirma que é nos primeiros minutos da precipitação que ocorre a maior carga de lavagem, carreando maiores concentrações de metais, sólidos e nutrientes contidos no escoamento superficial. Dois aspectos podem influenciar na concentração de massa transportada: o tamanho da área permeável analisada e a quantidade de dias sem chuva antes do evento de precipitação tornando a quantificação dos poluentes mais complexa quando comparada com as fontes estacionárias de poluição (SILVA e SIQUEIRA, 2015)

3.4 CONTROLE QUALITATIVO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O fluxo de águas pluviais por ruas, telhados e outras superfícies urbanas transporta uma série de poluentes que se encontravam depositados para lagos e outros cursos d'água situados a jusante das fontes poluidoras. Algumas medidas estruturais utilizadas para controle do fluxo do escoamento urbano podem, muitas vezes, ser eficientes para a remoção de poluentes carregados (Urban drainage and flood control district, 1991).

Segundo Maciel (2003), são dois os tipos de classificação para os dispositivos que minimizam a quantidade de poluentes no escoamento, os utilizados antes de chegar aos corpos hídricos e os utilizados nos corpos hídricos receptores. Para os dispositivos instalados antes da chegada da poluição aos corpos hídricos, temos os projetores de boca de lobo, boca de lobo separadora de lixo e telas de margens e/ou cercas vivas.

Os projetores de boca de lobo, são cestos removíveis adotados para a retenção de detritos. Esses são instalados sob a tampa da boca de lobo, e devem ser retirados com uma certa periodicidade para efetuar sua limpeza e recolhimento dos resíduos.

As bocas de lobo separadora de lixo utilizam a força centrípeta para fazer a separação líquido-sólido, o material sólido, devido a força de rotação é encaminhado para uma grade, enquanto a parte líquida escoar pela lateral do equipamento. Um exemplo desse tipo de separação é apresentado na figura 3.3. O dispositivo é muito eficiente para a captação de lixo acumulado nas sarjetas.

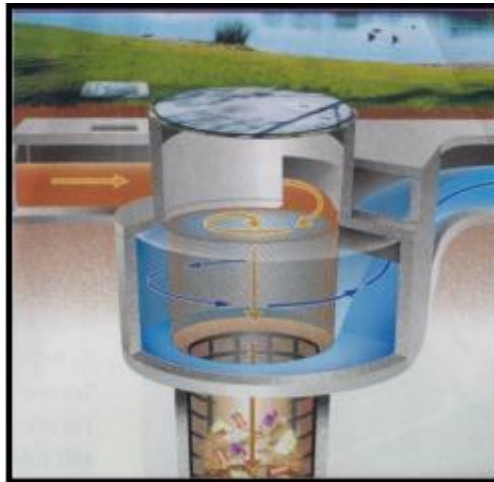


Figura 3.3 - Separador Centrípeta (MACIEL, 2003).

As telas de margens e/ou cercas vivas tem o objetivo de evitar o despejo de materiais ao longo do leito do rio realizando a proteção das margens. É importante que a limpeza dessas cercas seja executada com alta frequência, ao contrário podem ser prejudiciais para a população se tornando um foco de doenças.

Para dispositivos utilizados nos corpos hídricos, temos as redes de contenção e os reservatórios de retenção. As redes de contenção são situadas sobre o leito dos rios, agrupando o lixo em suspensão. Para que a limpeza seja feita são utilizadas dragas para a retirada de resíduos acumulados na rede. O reservatório de retenção tem como função minimizar os picos de cheias e regular a vazão a jusante para evitar inundações.

Ferreira (2008), cita algumas medidas compensatórias que controlam a qualidade da água, sendo elas, sistemas de infiltração, sistemas de retenção, sistemas de alagados e sistemas de filtração. Os sistemas de infiltração visam infiltrar no solo um volume do escoamento superficial, além de tentar melhorar a qualidade da água drenada. Por exemplo, as bacias de infiltração que removem os poluentes através de mecanismos de conversão biológica, adsorção e filtração. Sistemas de retenção também melhoram a qualidade e armazenam um volume de água de drenagem, sendo um ambiente favorável para a vida aquática e de plantas, o que facilita o controle de qualidade dessa água, através da absorção de nutrientes. Os sistemas alagados são semelhantes aos sistemas de retenção, porém com uma grande área úmida. Canholi (2005), cita como medida utilizada para melhoria da qualidade da água, as bacias de sedimentação. Essas bacias têm função de reter sólidos em suspensão e remover poluentes, além de ter função no controle de cheias.

3.5 IMPACTO DO LANÇAMENTO DA DRENAGEM PLUVIAL NA QUALIDADE DOS CORPOS RECEPTORES

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) cita que os impactos gerados pela qualidade da água de escoamento urbano nos corpos receptores variam de acordo com as especificidades do local estudado, de forma que não é possível generalizá-los. Os tipos de uso prioritários de um corpo hídrico definem quais são os poluentes de maior relevância; a resposta do corpo receptor ao lançamento de poluentes varia quando se trata de rios, lagos estuários; e características físicas como volume vazão e geometria interferem na intensidade da resposta do corpo à carga de poluentes lançada. Os poluentes gerados e a carga transportada ao corpo d'água dependem também do uso do solo da área drenada (US EPA, 1983).

Pesquisas ocorridas nos Estados Unidos mostram valores típicos de concentrações médias de compostos carregados pelo escoamento superficial em áreas com características de urbanização distintas. Como ilustrado na Tabela 3.1.

Tabela-3.1– Concentração média de componentes (Urban Drainage and Flood Control District, 1991)

Componente	Unidade	Área verde	Comercial	Residencial	Industrial
Fósforo Total (TP)	mg/L	0.40	0.42	0.65	0.43
Fosfato (PO_4)	mg/L	0.10	0.15	0.22	0.20
Nitrogênio Total (NT)	mg/L	3.4	3.3	3.4	2.7
Nitrogênio Kjeldahl Total (nKt)	mg/L	2.9	2.3	2.7	1.8
Nitrogênio Amoniacal (NH_3)	mg/L	0.1	1.5	0.7	1.2
Nitrato + Óxido Nítrico (NO_3/NO_2)	mg/L	0.50	0.96	0.65	0.91
Chumbo (Pb)	μ g/L	0.100	0.059	0.053	0.130
Zinco (Zn)	μ g/L	0.10	0.24	0.18	0.52
Cobre (Cu)	μ g/L	0.040	0.043	0.029	0.084
Cádmio (Cd)	μ g/L	Não Detectado	0.001	Não detectado	0.003
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	mg/L	72	173	95	232
Carbono Orgânico Total (COT)	mg/L	26	40	72	22-26
Sólidos em Suspensão Totais (SS)	mg/L	400	225	240	399
Sólidos Dissolvidos	mg/L	678	129	119	58
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg/L	4	33	17	29

Estudos do Denver Regional Urban Runoff Program (DRURP) mostram que o escoamento superficial urbano é uma fonte significativa de poluentes como sedimentos, bactérias fecais, matéria orgânica, nutrientes e metais pesados, sendo que a geração de sedimentos ocorre independentemente da existência prévia de erosões no solo. O transporte de nutrientes é considerado um fator preocupante principalmente para lagos e reservatórios. É importante levar

em consideração que águas pluviais também podem ser fontes de poluentes devido ao arraste da possível poluição atmosférica existente no local (Urban Drainage and Flood Control District, 1991).

São três os impactos na qualidade da água gerados pelo escoamento superficial urbano, sendo eles de curto-prazo, longo-prazo, e os relacionados ao arraste ou ressuspensão dos poluentes previamente depositados. Os impactos de curto-prazo são considerados os mais significativos quando se tratando de efluentes de drenagem urbana.

Os impactos considerados de curto-prazo, provocam alterações na qualidade do corpo hídrico durante e logo após eventos chuvosos. Esse impacto pode incluir variações locais e periódicas nas concentrações de oxigênio dissolvido por exemplo, ou um pico de concentração de um ou mais poluentes (EPA, 1983).

Questões relacionadas ao escoamento superficial urbano devem ser discutidas para lagos assim como para rios, porém quando se tratando de lagos algumas especificidades devem ser observadas. Devido ao maior tempo de detenção existente em lagos, a resposta ao acúmulo de poluentes é geralmente bem maior do que a esperada em rios. O carreamento de nutrientes para lagos pode ter um impacto significativo considerando o possível desenvolvimento indesejado de algas e plantas aquáticas, diminuindo a quantidade de oxigênio disponível no sistema. A recuperação a partir de uma contaminação, que pode ser gerada pela produção industrial, agricultura, turismo, pecuária ou navegação é mais lenta, e na existência de deposição de resíduos sólidos são gerados impactos visíveis (Urban Drainage and Flood Control District, 1991).

O lago Paranoá, no Distrito Federal, é utilizado para geração de energia, recreação, lazer, paisagismo, é receptor de esgotos tratados e da drenagem urbana, e futuramente será utilizado para abastecimento público. Por isso, é de suma importância que a qualidade de sua água seja acompanhada. A figura 3.4 mostra mapas da evolução do escoamento superficial na bacia do lago Paranoá.

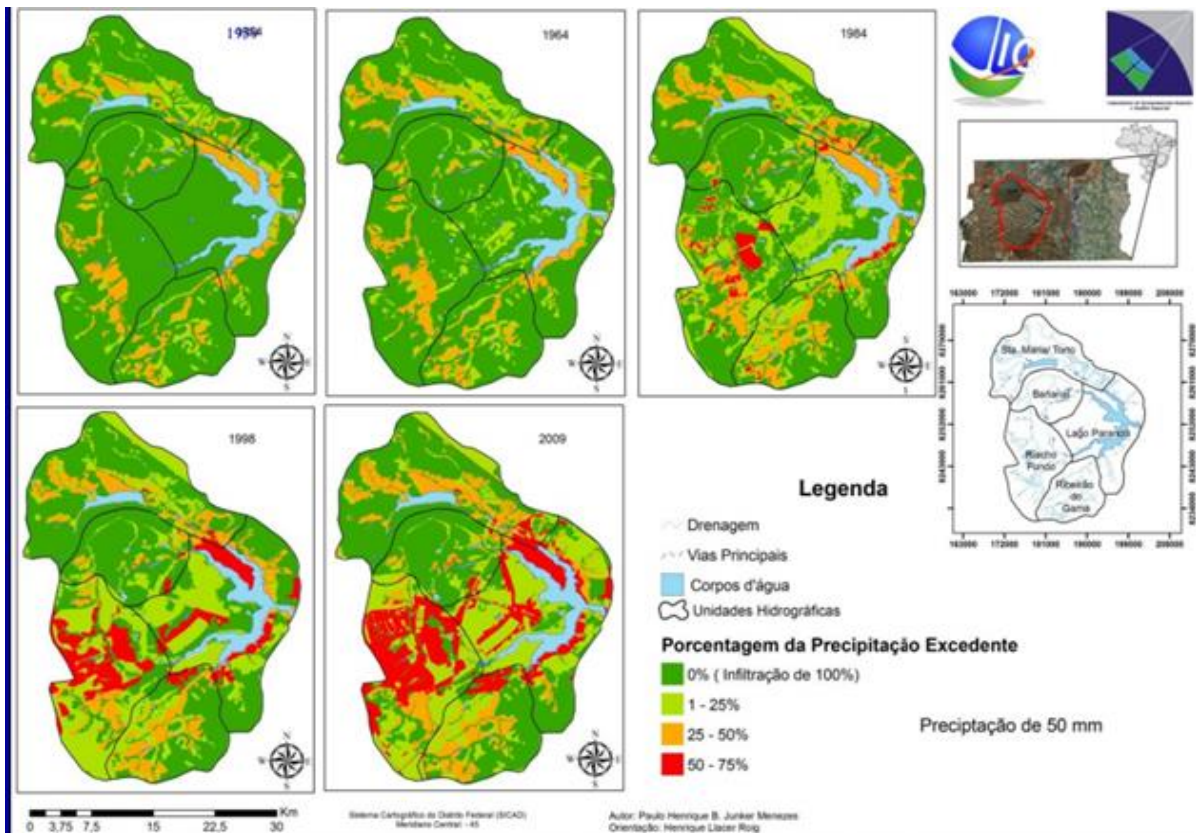


Figura 3.4 - Evolução do escoamento superficial na bacia do lago Paranoá – Menezes (2010)

Como especificado pela United States Environmental Protection Agency (EPA), a determinação do impacto gerado pelo escoamento urbano depende do uso da água do corpo receptor, e a definição da água de qualidade aceitável depende do enquadramento definido pelos órgãos competentes. Com o futuro uso da água do lago Paranoá para o abastecimento humano, é necessário um estudo e monitoramento das cargas de poluentes lançados no lago por diferentes emissores. A EPA, definiu para os programas de monitoramento do escoamento urbano nos Estados Unidos, que fossem calculadas as concentrações médias dos poluentes tidos como limitantes, a partir da massa do poluente contida na emissão, e das características do lago como profundidade, tempo de detenção e coeficientes de taxa de reação.

A Resolução do Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal - CRH N° 02, de 17 de dezembro de 2014, que aprova o enquadramento dos corpos de água superficiais do Distrito Federal em classes, determina que o lago Paranoá está inserido na Classe 2. As águas Classe 2 podem ser destinadas: ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação de hortaliças,

plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e à aquicultura e à atividade de pesca. A figura 3.5 apresenta a classificação proposta para o Distrito Federal conforme a resolução citada.

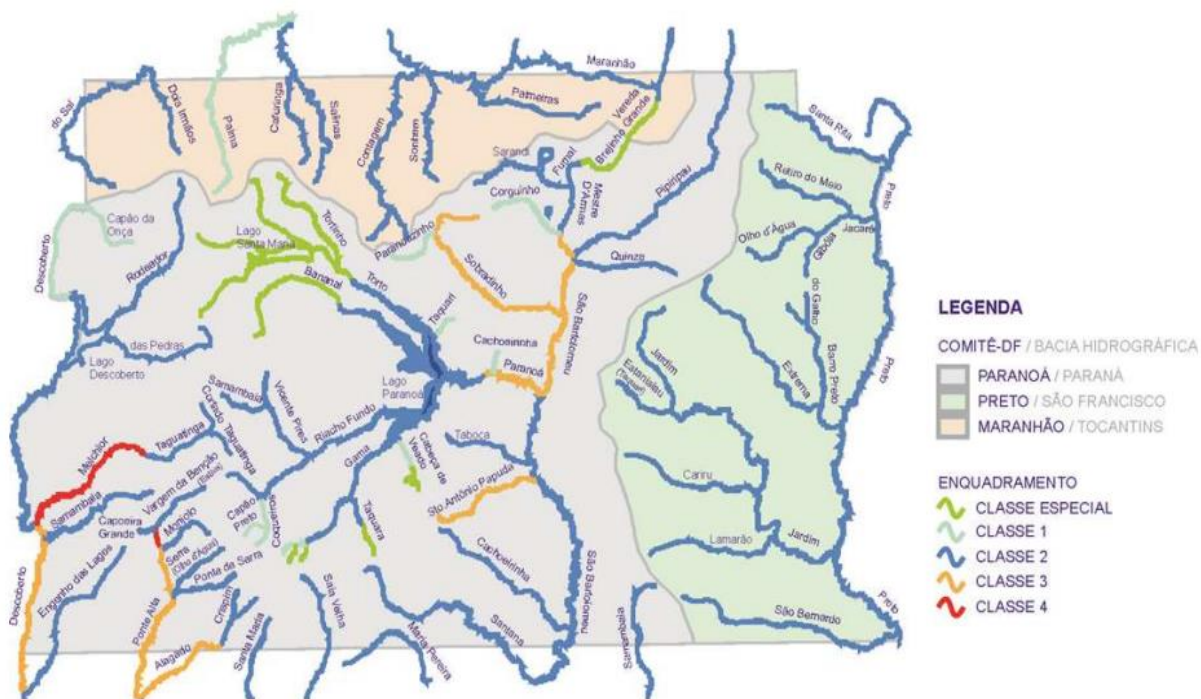


Figura 3.5 - Classificação dos rios no D.F. (Conselho de Recursos Hídricos do D.F.)

As emissões de poluentes no lago são originárias de estações de tratamento de esgoto, além das galerias de drenagem urbana. As estações de tratamento emissárias do lago Paranoá, Brasília Sul e Brasília Norte, possuem tratamento terciário, liberando uma quantidade menor de carga orgânica, porém ainda existem pontos na bacia onde a rede coletora de esgoto se conecta com a rede de drenagem urbana. Estes pontos estão representados na figura 3.6.

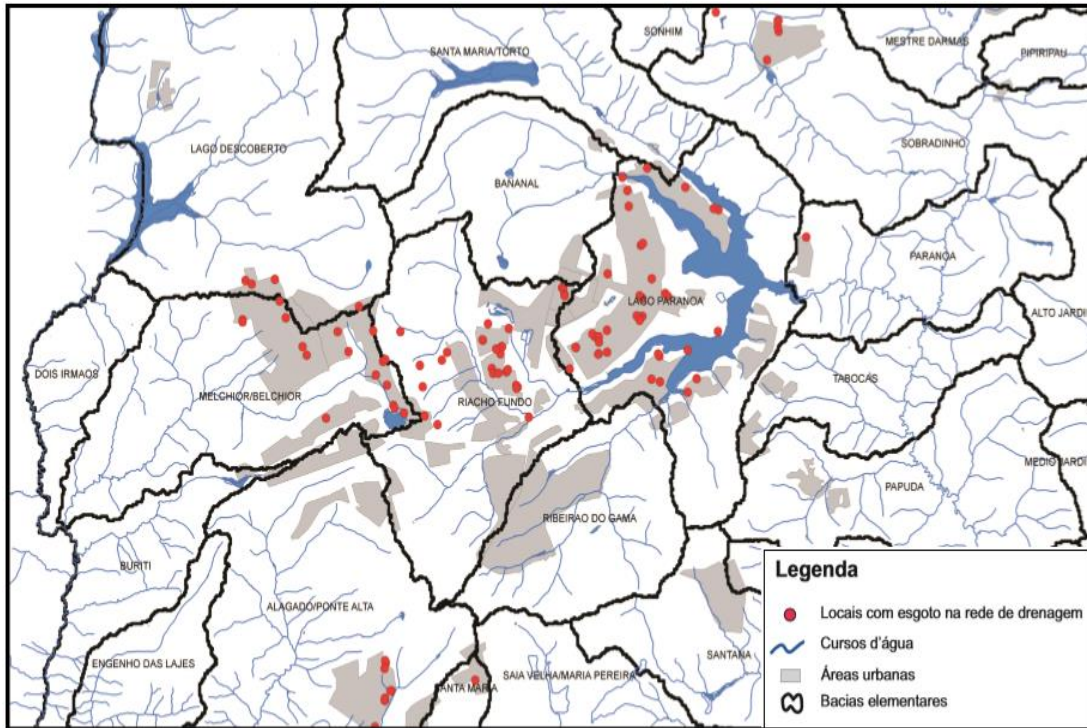


Figura 3.6 - Mapeamento das interconexões entre as redes de drenagem pluvial e de esgotos domésticos e industriais (PDDU Distrito Federal, 2008)

3.6 PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA A ANÁLISE DA QUALIDADE DO ESCOAMENTO PLUVIAL URBANO

A qualidade da água de drenagem está diretamente relacionada com a densidade populacional e o tipo de uso do solo da bacia. Uma das formas de avaliar a qualidade da água urbana é através dos parâmetros que caracterizam a poluição orgânica e a quantidade de metais. A qualidade pode ser avaliada em função da concentração média dos eventos, que não se altera em razão do volume do evento, sendo característico de cada área drenada (TUCCI, 2008).

É de suma importância que se caracterize esses parâmetros, tanto para garantir a qualidade do corpo hídrico receptor, quanto para evitar contaminação da população através da água de drenagem.

Diversos poluentes podem ser analisados para caracterizar o escoamento superficial urbano. Algumas das características mais importantes incluem, a demanda de oxigênio e a concentração

de sólidos, nutrientes e metais pesados. Dessa maneira, os parâmetros devem ser definidos, a partir do objetivo do estudo, do tipo de bacia e do resultado que se quer alcançar. Os parâmetros mais analisados, além dos citados incluem coliformes totais e termotolerantes, pH, condutividade elétrica, temperatura e óleos e graxas.

O Quadro 3.3 apresenta os danos potenciais gerados por cada parâmetro, reforçando a relevância da realização das análises.

Quadro 3.3 – Danos potenciais gerados por diferentes impurezas

Parâmetros	Relevância
Nitrogênio	É um importante nutriente para o crescimento de algas e plantas aquáticas superiores, podendo também contribuir para o fenômeno de eutrofização. Quando há predominância das formas orgânicas ou amônia, o foco de poluição se encontra próximo.
Nitrato	Originados principalmente de fertilizantes e da deposição atmosférica. Importante para o controle da saúde. Pode indicar a proximidade da fonte de poluição.
Nitrogênio amoniacal	A amônia é um tóxico bastante restritivo à vida dos peixes.
Fósforo	É um dos mais importantes nutrientes para o crescimento de plantas aquáticas. Originado nas descargas de esgotos sanitários: detergentes superfosfatados e descarga fecal, efluentes industriais, ou águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas. O excesso de fósforo pode conduzir, junto como o nitrogênio, a processos de eutrofização.
pH	Contribui para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados, exercendo efeito também sobre a solubilidade de nutrientes.
condutividade	Podem indicar efeitos impactantes na bacia ocasionados por lançamento de resíduos devido ação antrópica.
Sólidos em suspensão	Diminuem a transparência das águas, podendo reduzir significativamente a energia luminosa disponível para a fotossíntese, pois conferem turbidez às águas, influenciando na quantidade de oxigênio dissolvido e temperatura do corpo hídrico.
Sólidos dissolvidos	Relacionam-se com os íons diluídos na água, aumentando a condutividade, e indicando a presença de nutrientes.
Sólidos totais	Afetam a dureza da água e aumentam com a poluição devido ao aumento de erosão e poluentes no meio aquático.
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
Coliformes; <i>E. coli</i>	Indicadores da contaminação fecal, sua determinação indica a potencialidade de uma água transmitir doenças.
Metais pesados	Apresentam efeitos adversos à saúde humana. Têm sua fonte principal em veículos automotores, seja por emissões ou deposição nas vias. Encontrados também em efluentes industriais. São acumulados ao longo da cadeia alimentar, atingindo os seres humanos em quantidades consideráveis.

3.7 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DAS CARGAS POLUIDORAS

A geração de contaminação difusa ou cargas poluidoras varia de acordo com o uso do solo da bacia hidrográfica em análise, podendo alterar o nível do impacto no corpo hídrico. Por exemplo, em bacias rurais a carga poluidora tem origem nos usos de pesticidas e agrotóxicos, enquanto que na bacia urbana os poluentes advêm de automóveis, asfalto, resíduos sólidos, entre outros. Com isso, o tipo e concentração de poluente que chega ao corpo d'água varia.

A contaminação difusa, por depender da intensidade da precipitação e do uso do solo, dificulta a quantificação dessa poluição, gerando um problema complexo. Em outros países vários modelos já foram criados, com o objetivo de quantificar a contaminação difusa e seus impactos, porém no Brasil a avaliação dessa contaminação é um obstáculo, pois a disponibilidade de dados é muito restrita. Dessa maneira, métodos e modelos mais simplificados para a avaliação da carga difusa são instrumentos para fazer tal análise com escassez de dados. A estimativa das cargas poluidoras pode ser realizada de duas formas, por meio de avaliação baseada em amostragem ou por meio de modelos matemáticos (HAUPT, 2009).

A avaliação baseada em amostragem não leva em consideração o uso e ocupação do solo, visa somente a quantificação da carga poluidora e consiste na variação da concentração de poluentes e da intensidade de precipitação ao longo do tempo. Os parâmetros para análise das amostras são escolhidos, como por exemplo, DBO, DQO, sólidos em suspensão, entre outros e a partir desses a amostragem do escoamento superficial é realizada. Um maior número de amostras analisadas garante uma maior confiabilidade na análise dos dados. O produto desse tipo de avaliação é denominado de polutograma, que informa a concentração de contaminantes ao longo do tempo.

Segundo Novotny (2003 apud Haupt, 2009), as cargas originadas da poluição difusa podem ser quantificadas por diversos modelos matemáticos, entre eles:

- Unidade de Carga (UC)
- Modelo MQUAL
- Modelo XP-Aqualm e
- Modelo Moneris.

3.7.1 Unidade de Carga

O método da Unidade de Carga é de simples formulação matemática e fácil aplicação. Consiste em atribuir pesos de produção de cargas difusas, levando em consideração cada tipo de uso do solo, com o auxílio de valores de referência. Uma desvantagem do método é a não correlação das cargas difusas com a morfologia e hidrologia da bacia, porém pode ser aplicado a diferentes bacias (HAUPT, 2009).

Através desse método é possível determinar as cargas anuais ou diárias da poluição difusa produzidas na bacia em análise pelos diferentes grupos de uso da terra, porém o método não considera os mecanismos de transporte e de retenção das cargas. Como exemplo pode-se citar um estudo realizado no Córrego Ibiraporã, localizado na região do Butantã, no município de São Paulo onde foi utilizado o método de Unidade de Carga para análise da produção de carga difusa na bacia. O estudo tem como objetivo avaliar a evolução do corpo d'água em relação a despoluição do córrego. Os autores elaboraram um mapa com a classe de uso do solo para a bacia do Córrego Ibiraporã para aplicação do método e com isso estimaram a produção de carga difusa na bacia obtendo os resultados mostrados na Tabela 3.2:

Tabela 3.2- Produção de carga difusa calculada pelo método da Unidade de Carga (Porto e Silva, 2015)

Classe	Área (km²)	N total (kg/dia)	P total (kg/dia)	Ss Total (kg/dia)	Carga Gerada (kg/dia)
Tecido Urbano Contínuo	0,1505	0,1917	0,0051	7,5254	7,7222
Tecido Urbano Descontínuo	0,1812	0,1935	0,0052	7,5945	7,7932
Redes Viárias e Ferroviárias e espaços associados	0,6656	0,5849	0,0156	22,9567	23,5572
Espaços verdes urbanos	0,0586	0,0212	0,0006	0,08309	0,8526
Equipamentos dispositivos e de lazer	0,1115	0,0518	0,0014	2,0349	2,0882
Total	1,1675	1,0432	0,0278	40,9423	42,0134

3.7.2 Modelo MQUAL

É conhecido como Modelo Matemático de Correlação Uso do Solo x Qualidade da Água, criado durante o estudo do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia do Guarapiranga da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. De acordo a Secretaria do Ministério do Meio Ambiente e COBRAPE, o modelo apresenta as seguintes respostas à análise:

- da qualidade futura do manancial sob diversas hipóteses de ocupação da bacia, de implantação de sistemas de saneamento e ações de controle;
- de novas políticas de uso do solo, com a identificação clara das contribuições específicas de cada categoria de uso do solo na qualidade da água, além de áreas prioritárias para preservação e recuperação;
- do licenciamento de grandes empreendimentos, com uso de uma ferramenta adequada para avaliação de impactos sobre a qualidade das águas e;
- novas medidas de controle ambiental que possam ser propostas, a partir do conhecimento mais detalhado da bacia.

É considerado um modelo simplificado que pode ser aplicado em bacias urbanas e/ou agrícolas e avalia as cargas de poluição difusa e seu transporte. O modelo necessita, porém, de monitoramento contínuo da qualidade da água dos corpos hídricos da bacia em estudo, dificultando a análise de bacias brasileiras que não apresentam esses dados.

3.7.3 Model XP-Aqualm

O modelo apresenta três módulos distintos, sendo eles:

- O módulo de chuva-vazão que leva em conta a interceptação, evaporação e armazenamento superficial;
- O módulo de poluição, que apresenta entrada de dados já manipulados, no que diz respeito a poluição difusa, o que torna o método bem simplificado; e
- O módulo de qualidade da água, onde o usuário insere funções definidas de decaimento.

O Modelo XP-Aqualm tem o objetivo de avaliar os impactos da mudança de uso do solo e das cargas de poluição, tanto pontual quanto difusa, para elaborar políticas públicas nas bacias que estão sofrendo algum processo de urbanização.

3.7.4 Modelo Moneris

O modelo Moneris (Modelling Nutrient Emissions into River Systems) foi desenvolvido na Alemanha em 1999 por Behrendt. Se baseia no balanço hídrico para a estimativa das emissões de diferentes origens, calculando as cargas geradas por fontes difusas e pontuais.

Segundo Palmeri, Bendoricchio e Artioli 2005 (apud Haupt 2009), é um modelo de parâmetros distribuídos de regime permanente e anual, sendo os dados agregados espacialmente em unidades de sub-bacias com dimensões da ordem de centenas de km². É um modelo que não exige grandes séries de monitoramento de qualidade da água, fato interessante para a aplicação em bacias brasileiras. Depois de quantificadas, as cargas poluidoras podem ser representadas através de alguns métodos:

- Concentração Média do Evento (CME)
- Concentração Média do Local (CML)
- Massa Específica do Evento (MEE) e
- Polutograma.

3.7.5 Concentração Média do Evento

A Concentração Média de Evento (CME) representa uma avaliação global do impacto das cargas difusas e relaciona a massa de poluente transportada e o volume de água escoado (PRODANOFF, 2005). Dessa maneira, é possível analisar o potencial poluidor de cada evento e através de estudos analíticos estabelecer relações com o total de chuva, pico do hidrograma e uso e ocupação do solo. O método leva em consideração os impactos que a poluição causa na bacia verificando a alteração da concentração de cada parâmetro sobre a qualidade da água do corpo receptor (HAUPT, 2009).

3.7.6 Concentração Média do Local

As concentrações dos poluentes podem variar muito de local para local, cada um apresenta um padrão de escoamento específico, atividades humanas e ocupação do solo distintos, gerando cargas poluidoras distintas e de diferentes concentrações. Por isso, a CML é importante, pois define a concentração média de um parâmetro em determinado local em um evento chuvoso específico.

3.7.7 Massa Específica do Evento

A Massa Específica do Evento (MME) representa a massa integral de um certo parâmetros analisados, por unidade de área, durante o período da análise. Também pode ser utilizada para o controle da massa total de poluentes em uma determinada bacia ou sub bacia hidrográfica (COSTA, 2012). É calculada através da equação 1:

$$MME = \frac{M}{A} = \frac{\int_0^t CtQtdt}{A} \cong \frac{\Sigma CtQt\Delta t}{A}$$

Equação 1

Onde,

A = Área da bacia hidrográfica

3.7.8 Polutograma

Os polutogramas são gráficos que representam a avaliação da concentração de um determinado poluente em relação ao tempo, importante na análise de ocorrência do fenômeno “Primeiro Fluxo”. Geralmente, mais utilizado no cálculo do volume de escoamento que deve ser retido para controlar os impactos da poluição. O pico do polutograma, normalmente, ocorre antes do

pico de vazão, devido a remoção inicial do material acumulado entre a ocorrência de chuvas. A Figura 3.7 mostra a comparação entre o hidrograma e o polutograma.

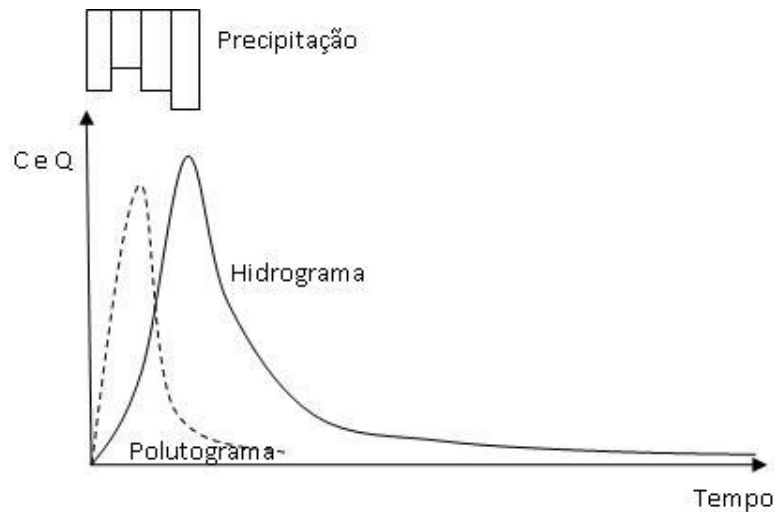


Figura 3.7 – Polutograma e Hidrograma

De acordo com o poluente considerado, USEPA (1992) mencionou que a variabilidade da taxa de massa poluente que é transportada ao longo dos eventos chuvosos na rede de drenagem, pode ser verificada claramente por duas curvas, o hidrograma e o polutograma, por isso a importância dos gráficos.

4. METODOLOGIA

A metodologia foi elaborada a partir de quatro etapas principais, sendo elas: definição dos locais de monitoramento, amostragem, análise de resultados e caracterização quali-quantitativa do escoamento superficial. O fluxograma da figura 4.1 apresenta as etapas metodológicas do trabalho.

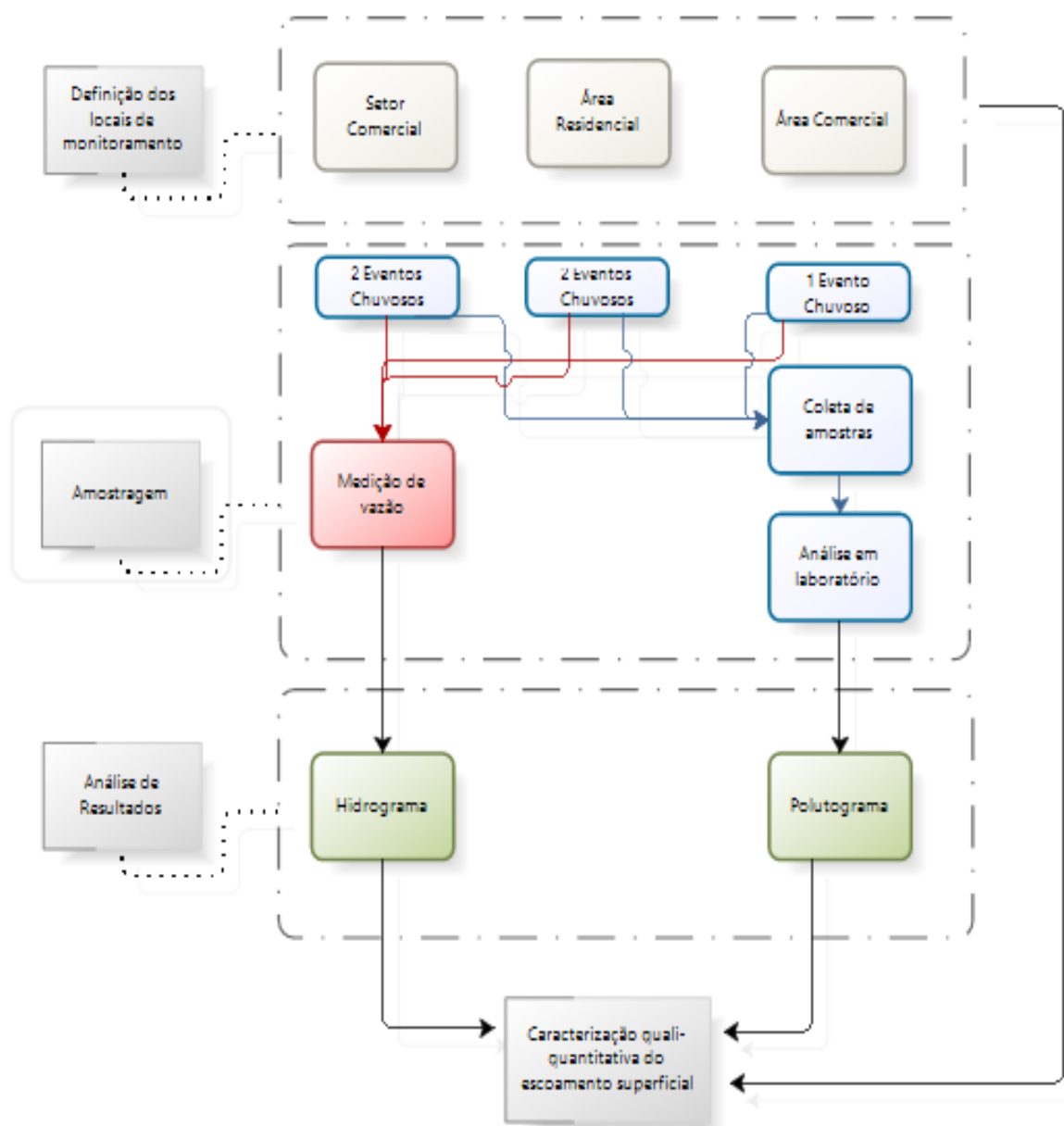


Figura 4.1 Representação esquemática das etapas metodológicas trabalho.

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo escolhida foi a sub-bacia de drenagem denominada de Iate, que faz parte da bacia do Paranoá e é apresentada na figura 4.2. A bacia do Iate tem uma área de drenagem de 9.04 km², onde a ocupação do solo é principalmente urbana. A bacia de drenagem abrange áreas com diferentes ocupações, incluindo área residencial, comercial, hospitalar, além de parte da Universidade e tem seu exutório no Iate Clube de Brasília.



Figura 4.2 – Sub-bacia do Iate – Brasília – D.F. (Costa, 2013).

4.2 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DO PROJETO

4.2.1 Etapa 1: Definição dos locais de monitoramento

Dentro da sub-bacia Iate foram escolhidas três micro bacias com características de uso/ocupação do solo bem definidas e diferentes entre si. Os pontos de monitoramento foram as saídas dessas micro bacias, localizadas no Setor Comercial Norte, Entrequadra Norte 402/403 e na Superquadra Norte 202.

Em cada área de monitoramento foi determinado um ponto para onde uma grande parte da área selecionada drena, de forma a garantir vazão de escoamento. Para delimitar a área drenante, foram utilizados os divisores de água definidos a partir das curvas de nível e do perfil de elevação do terreno. Para a determinação das curvas, foi utilizado um modelo digital de elevação e o software ArcGIS. Foi utilizado como base também dados topográficos fornecidos pela novacap e os perfis de elevação do terreno disponíveis no software Google Earth. Para a elaboração dos mapas foram utilizados além do Google Earth o software AutoCAD.

O primeiro ponto selecionado está localizado no Setor Comercial Norte, caracterizado pela existência de altos edifícios, alto fluxo de carros e atividade majoritariamente comercial (pequenos shoppings e prédios de escritórios). O segundo ponto encontra-se na Entrequadra Norte 402/403, caracterizada por diversos estabelecimentos comerciais incluindo restaurantes, bares, salão de beleza e lavanderia. O terceiro ponto de monitoramento está localizado na Superquadra Norte 202, sendo essa, uma quadra residencial, caracterizada por prédios de até 6 andares, menor fluxo de carros, e composta por apartamentos residenciais.

Na bacia de drenagem estudada, existe uma área caracterizada por uma grande quantidade de oficinas na Quadra 702 Norte, fator que pode contribuir negativamente para a qualidade da água de escoamento em razão da concentração de óleos, graxas e metais. Essa área não foi selecionada como ponto de monitoramento, de forma que não foram realizadas análises referentes à área de contribuição e declividade do local, mas ainda assim foi possível realizar uma análise de metais, feita com apoio do Laboratório de Geoquímica da Universidade de Brasília.

4.2.2 Etapa 2: Amostragem da água de drenagem urbana

A amostragem foi realizada entre setembro de 2015 e março de 2016 a partir da observação dos pontos de coleta durante os períodos chuvosos. A possibilidade de chuva foi avaliada através de sites de previsão climática além de observação da evolução da chuva em tempo real a partir do Radar Gama. O radar localizado em Brasília é da Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica, seus dados de precipitação são atualizados e disponibilizados online a cada 10

minutos. Durante eventos chuvosos foram coletadas amostras para análise laboratorial segundo procedimento descrito na sequência, além de coletados dados referentes à vazão do escoamento e fatores que poderiam influenciar a amostra, como obras em locais próximos ou presença de lixo. Para o projeto foram estudados dois eventos chuvosos no Setor Comercial Norte e na Entrequadra Norte 402/403 e um evento na Superquadra Norte 202, as datas e os locais onde foram coletadas e a precipitação diária total estão relacionadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1- Datas, locais dos dias de coleta e total precipitado segundo dados da estação Caesb - Hidrologia.

Data	Local	Total precipitado(mm)
28/09/2015	Setor Comercial Norte	7,5
20/12/2015	Entrequada Norte 402/403	28,9
21/01/2016	Setor Comercial Norte	55,2
07/03/2016	Superquadra Norte 202	8,1
11/03/2016	Entrequadra Norte 402/403	9,2

Em cada evento de determinada área foram coletadas 5 amostras em intervalos de 5 minutos para análise laboratorial durante eventos de chuva, onde também foram realizadas medições de velocidade do escoamento para o cálculo da vazão. Para cada evento realizado foi coletada além das amostras do escoamento urbano, uma amostra de água da chuva para análise do pH e condutividade.

Entende-se por evento chuvoso o momento da precipitação onde foram coletadas as amostras para análise de qualidade e realizado a coleta dos dados de vazão. Esse procedimento foi realizado em momentos onde a quantidade do escoamento superficial era tal para garantir a medição da vazão e a coleta da água nos recipientes utilizados.

4.2.2.1 Medição de vazão

O cálculo das vazões é realizado a partir do produto da velocidade e da área do escoamento, essa definida com base na sua largura e profundidade conforme apresentado na figura 4.3, onde y está representando a profundidade do escoamento.

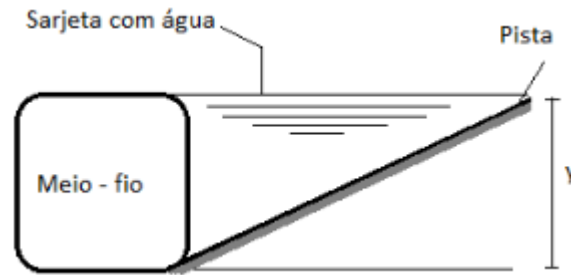


Figura.4.3 - Representação da sarjeta

Para o cálculo da velocidade foram selecionadas duas metodologias sendo uma a partir do uso do tubo de pitot e a outra a partir do uso de flutuadores. Utilizou-se bolas de isopor como flutuadores. Ambos instrumentos foram utilizados de forma a garantir uma maior precisão na coleta de dados. A área foi definida a partir da largura da lâmina d'água gerada pelo escoamento e pela profundidade da água que passava pela sarjeta, medidos no local.

Para ambas as medições existem erros associados devido às irregularidades existentes nos pavimentos urbanos, à existência de materiais sólidos carregados pela chuva além das variações de velocidade do escoamento devido à passagem de carros e alterações na precipitação. Ao utilizar bolas de isopor como flutuadores, o erro associado está relacionado com a variação da velocidade superficial além da determinação da velocidade realizada através de um cronômetro manual. Buscando minimizar os erros, foram selecionados pontos onde o regime do escoamento se mostrava o mais contínuo e laminar possíveis.

4.2.2.2 Dados de chuva

Os dados de precipitação usados para o presente trabalho foram fornecidos por duas estações. A primeira é a estação do INMET localizada no Cruzeiro, de nome Brasília e de código 1547004, essa forneceu os dados de chuvas diárias do período de agosto de 2015 a março de 2016 e as precipitações mensais para os anos de 2013, 2014, 2015 e 2016. A segunda estação é da CAESB localizada na ETA Brasília, na Asa Norte, de nome Caesb-Hidrologia e código 1547029, a estação forneceu, além dos dados diários de chuva através de pluviômetros para o mesmo período da estação anterior, os dados do pluviógrafo, em intervalos de 5 min, para os dias de coleta.

Os dados de precipitação referentes à estação Brasília foram utilizados apenas para a comparação do total precipitado durante os anos de 2013 a 2016, já que na estação CAESB-HIDROLOGIA faltavam alguns dados. Por ser mais próxima as micro-bacias, usou-se para a comparação da precipitação dos dias de coletas os dados da estação CAESB-HIDROLOGIA.

4.2.2.4 Coleta de amostras

Para a coleta de amostras nas saídas das micro-bacias, utilizaram-se recipientes de vidro, lavados com água destilada e recipientes esterilizados em autoclave, esses para a coleta de amostras de coliformes. Imediatamente após a coleta, as amostras foram levadas para o Laboratório de Saneamento Ambiental na Universidade de Brasília para refrigeração de forma a conservá-las até a realização das análises.

4.2.2.5 Parâmetros estudados e análise das amostras em laboratório

Para cada amostra coletada foram analisados dados de DQO, sólidos totais, suspensos e dissolvidos, coliformes totais e *E. coli*, nitrogênio amoniacal, nitrato, fósforo total, pH, e condutividade elétrica para todas as amostras coletadas. Foram também coletados dados referentes à metais pesados apenas para a amostra da Quadra 702 Norte. As metodologias utilizadas para a análise de cada parâmetro baseiam-se no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. O Quadro 4.1 apresenta tais metodologias.

Quadro 4.1 - Metodologias utilizadas para análise dos parâmetros selecionados

Parâmetro	Método de análise
pH	Eletrométrico
DQO	Espectofotométrico
Nitrato	Espectofotométrico
Fósforo total	Pré digestão/ Ascórbico/molibdato
Condutividade Elétrica	Condutivímetro
Nitrogênio Amoniacal	Colorimétrico
Coliformes Totais	Substrato Cromogênico
<i>Escherichia coli</i>	Substrato Cromogênico
Sólidos Totais	Gravimétrico
Sólidos Suspensos	Gravimétrico

4.2.3 Etapa 3: Análise de resultados – Métodos para avaliação das cargas poluidoras

A partir da coleta de dados, foram elaborados polutogramas para a estimativa da variação temporal da concentração dos poluentes. Desenvolvidos também, hidrogramas que caracterizam a variação da vazão escoada. Para determinar o potencial poluidor de cada evento foi calculada para os parâmetros de qualidade analisados a Concentração Média de Evento - CME, calculada através de:

$$CME = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^t CtQtdt}{\int_0^t Qtdt} = \frac{\Sigma CtQt\Delta t}{\Sigma Qt\Delta t}$$

Equação 2

CME = concentração média do evento chuvoso monitorado (mg/L);

M = massa total do poluente descarregado ao longo do evento (g);

V = volume total ao longo do evento (m³);

Ct = concentração no tempo t (mg/L);

Qt = vazão no tempo t (m³/s);

Δt = intervalo de tempo (s).

Para possibilitar a comparação entres as áreas utilizou-se o conceito de vazão específica que representa a vazão gerada pela micro-bacia por unidade de área, com isso pode-se comparar a vazão gerada por micro-bacias de tamanhos diferentes com maior precisão. Para o cálculo da vazão específica, a vazão total de cada micro-bacia foi dividida pela sua respectiva área. A tabela 4.2 mostra a área de contribuição em m² para cada micro -bacia:

Tabela.4.2 - Áreas de contribuição das micro-bacias

Micro-bacias	Área (m ²)
Setor Comercial Norte	12.138
Entrequadra Norte 402/403	8.443
Superquadra Norte 202	5.718

4.2.4 Etapa 4: Caracterização quali-quantitativa do escoamento superficial

A partir dos dados coletados, foram comparados os resultados obtidos para eventos distintos em uma mesma área, de forma a relacionar a concentração da poluição encontrada em cada ponto de monitoramento com o período de estiagem antecedente. Foram comparados também polutogramas elaborados para os diferentes pontos, estudando assim a existência do fenômeno de Primeiro Fluxo na bacia. Os diferentes locais monitorados também foram relacionados de modo a verificar a variação de resultados encontrados de acordo com o tipo de ocupação predominante. A Resolução CONAMA nº430/2011 foi utilizada de forma a verificar se o escoamento urbano que foi caracterizado no trabalho se adequaria às normas de lançamento de efluentes.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O presente capítulo refere-se às análises e a discussão dos resultados obtidos de quantidade e qualidade do escoamento superficial nos três locais de monitoramento definidos: Setor Comercial Norte, Superquadra Norte 202 e Entrequadra Norte 402/403.

5.1. Definição dos locais de monitoramento

Foram selecionados 3 locais de monitoramento com tipos de ocupação distintas conforme explicitado no item 4.2.1. A partir da definição da área de contribuição de cada local de monitoramento foram selecionados pontos de concentração do escoamento para a realização das coletas. Os locais selecionados possuem áreas pequenas (menores que 15.000m² conforme apresentado no item 4.2.3.) garantindo usos singulares para cada área, de forma a facilitar a caracterização do escoamento superficial em cada local. São apresentadas nas figuras 5.1, 5.2 e 5.3 os locais de monitoramento no Setor Comercial Norte, Entrequadra Norte 402/402 e Superquadra Norte 202, respectivamente.

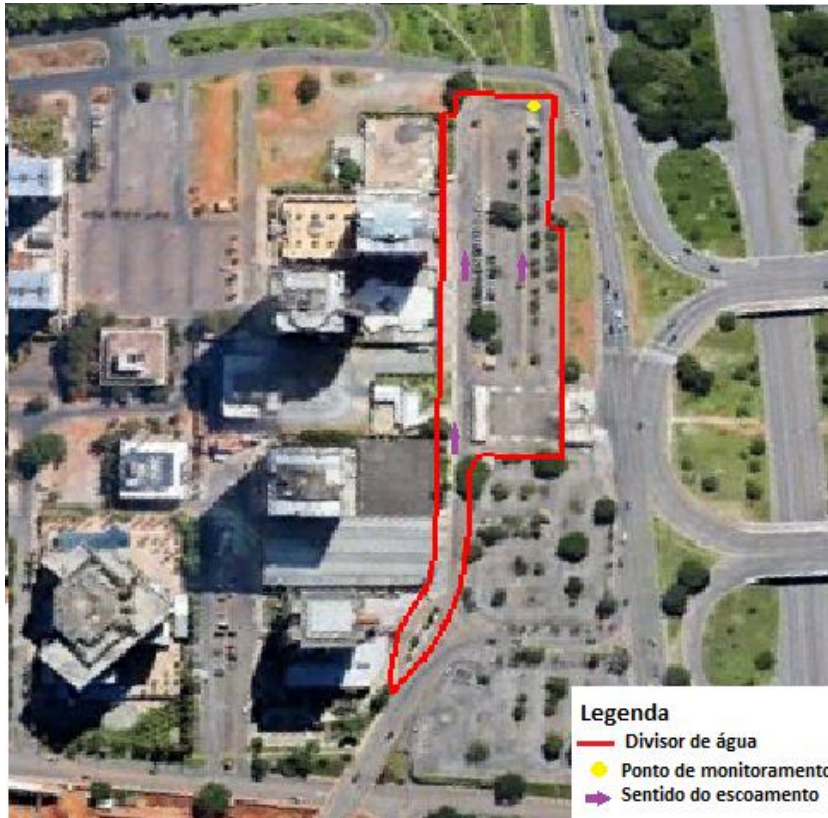


Figura 5.1 - Área de estudo Setor Comercial Norte

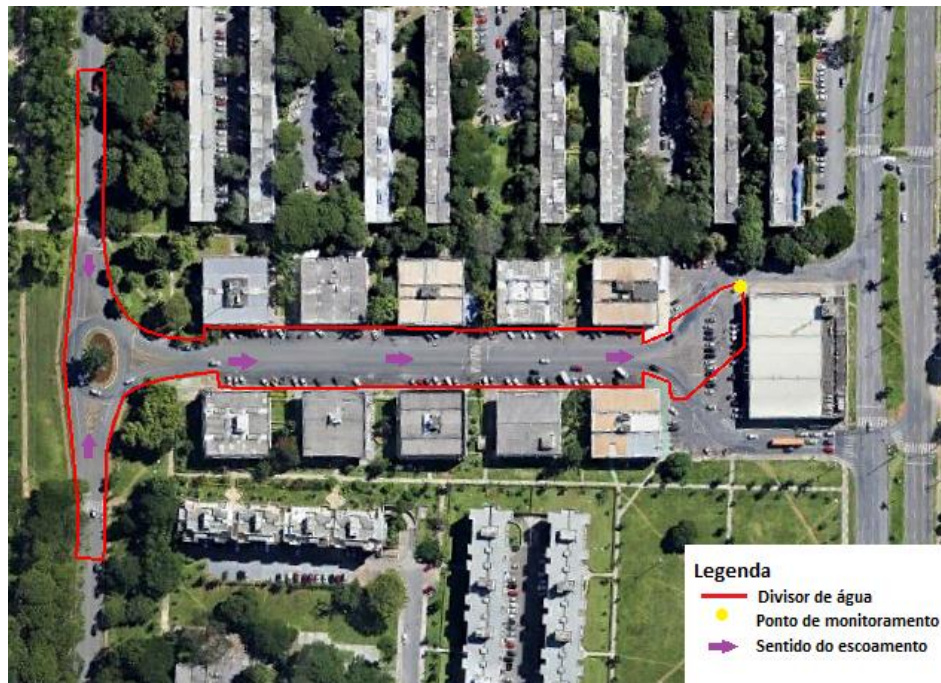


Figura 5.2 - Área de estudo CLN 402/403



Figura.5.3 - Área de estudo SQN 202

A Superquadra Norte 202 foi selecionada por apresentar histórico de inundações no período chuvoso em anos anteriores e por apresentar acúmulo aparente de poluentes conforme apresentado na figura 5.4, porém devido à menor área de monitoramento e ao menor índice pluviométrico do ano estudado os dados coletados não foram tão representativos quanto o esperado.



Figura 5.4 – Evidências de poluição na Superquadra Norte 202

5.1. Condições hidrológicas do período monitorado

Os dados hidrológicos de precipitação total dos anos 2013, 2014, 2015 e 2016, referentes aos meses de agosto a março, período esse de coleta do trabalho, foram utilizados para a elaboração do gráfico, apresentado na figura 5.5. Os dados apresentados foram obtidos da estação Brasília, de código 1547004. Nota-se pelo gráfico que a precipitação total para o período de coleta de 2015 e 2016 foi bem menor em comparação aos outros anos, exceto no mês de janeiro, onde a precipitação total foi maior, o que explica os valores baixos encontrados para os dados de vazão nas três áreas estudadas que são apresentados nos itens 5.2.2, 5.3.2 e 5.4.

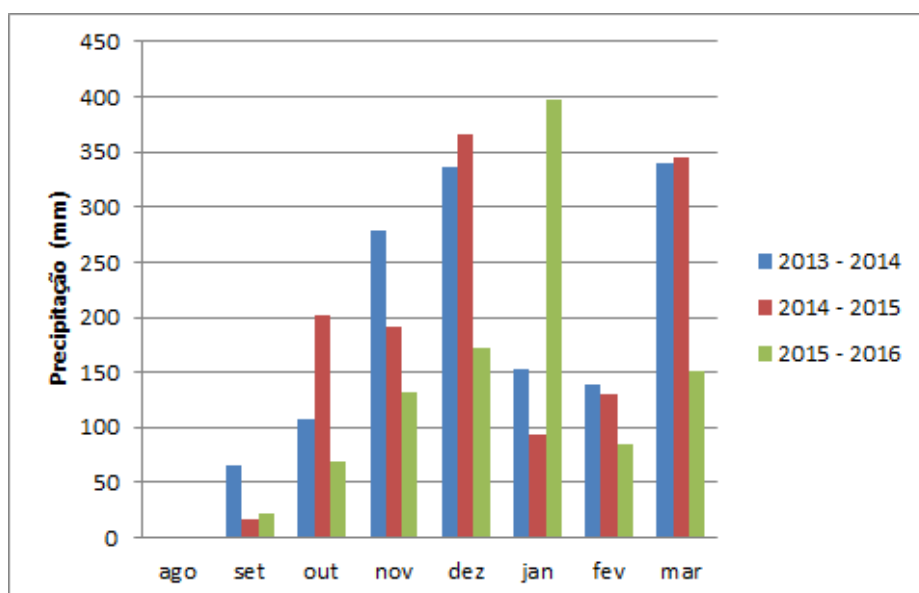


Figura 5.5 Precipitação durante o período de Agosto de 2013 a Março de 2016 - dados da Estação - Brasília

5.2. SETOR COMERCIAL NORTE

Para o ponto selecionado no Setor Comercial Norte foi possível coletar dados referentes ao escoamento superficial em dois eventos chuvosos, um em setembro de 2015, no início do período chuvoso em Brasília, e outro em janeiro de 2016. Devido à problemas com o equipamento da CAESB não foi possível obter dados horários da precipitação para o primeiro evento. O dados de precipitação horária referentes ao segundo evento são apresentados na figura 5.6.

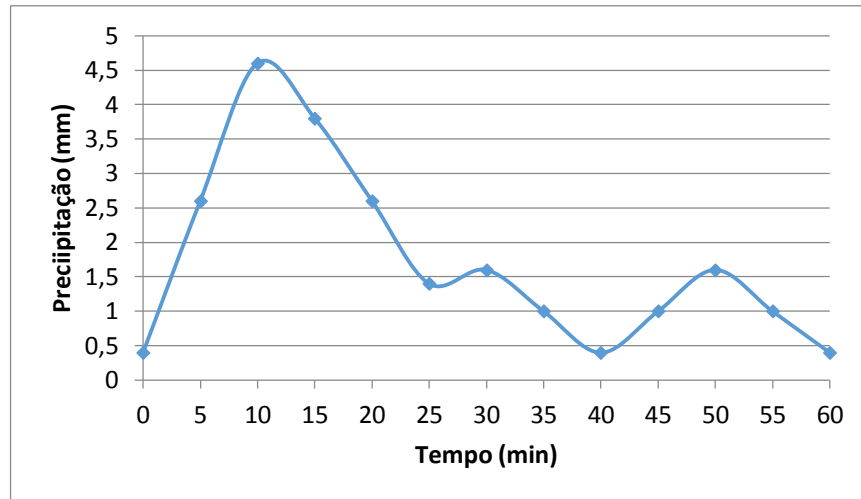


Figura 5.6- Precipitação horária (mm) em 21/01/2016

Dados de precipitação diária e tempo de estiagem para ambos os eventos são apresentados na tabela 5.1. O tempo de estiagem se refere ao número de dias sem chuva antecedentes ao evento. Os dados de precipitação são a Estação Caesb - Hidrologia, localizada no Asa Norte.

Tabela.5.1 - Precipitação e tempo de estiagem.

Evento	Data	Precipitação	Tempo de estiagem
1	28/09/2015	7,5	13 dias
2	12/01/2016	55,2	1 dia

O tempo de estiagem se refere ao número de dias antecedentes ao evento em que a precipitação total diária foi igual a zero na estação, dessa forma são contabilizadas chuvas com baixa precipitação e duração, que foram observadas na Estação, mas não significa que houveram altas precipitações capazes de carrear poluentes depositados nas áreas de estudo.

5.2.1 Qualidade

A Tabela 5.2 apresenta as faixas de concentração de cada parâmetro analisado para os dois eventos chuvosos referentes ao Setor Comercial Norte.

Tabela.5.2 - Concentração dos parâmetros.

Componente	Evento 1 - 09/15		Evento 2 - 01/16	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Fósforo P (mg/L)	0,003	0,02	0,04	0,12
Nitrogênio Amoniacal NH3-N (mg/L)	1,6	2,9	0,6	0,8
Nitrato NO3- (mg/L)	3	6	1	2
DQO (mg/L)	59,5	144,6	6,2	23,1
Sólidos em Suspensão (mg/L)	90	362	10	42
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	64,2	169,5	10,4	15,7
Sólidos Totais (mg/L)	161	273	65	105
Condutividade (µs/cm)	32,8	191,6	22,9	33,8
Coliformes Totais NMP	135400	>2419600	148300	290900
<i>E. coli</i> NMP	3100	1553100	4100	24600
pH	6,23	6,69	7,17	8,46

A partir das análises qualitativas das amostras coletadas foi possível perceber uma quantidade maior de poluentes no escoamento evidenciado em setembro, de forma que foram obtidos valores mais altos em relação a quase todos os parâmetros analisados com exceção do fósforo e do pH.

5.2.2. Vazão

A precipitação por vezes ocorre de maneira rápida e localizada, e o Radar Gama apesar de muito preciso atualiza o mapa a cada 10 minutos, o que dificultou a chegada aos pontos de coleta de dados no início da precipitação. Assim, foi possível coletar dados de vazão e qualidade da água em alguns eventos onde não presenciamos o pico da vazão de escoamento.

Para os dois eventos amostrados no Setor Comercial Norte, foi possível coletar dados no início da precipitação apenas no primeiro, em setembro, como apresentado na figura 5.7:

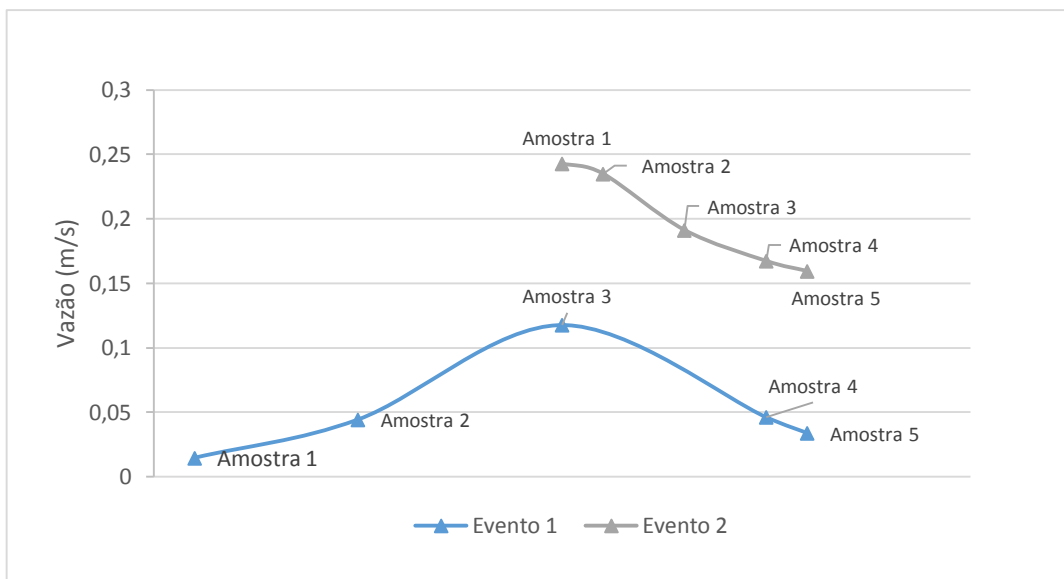


Figura.5.7 - Vazão para os eventos chuvosos no Setor Comercial Norte

No momento das coletas foram utilizadas as duas metodologias citadas para a medição da vazão, feita com o uso do tubo de pitot e flutuadores, porém para a realização das análises utilizou-se os dados do tubo de pitot por apresentar maior precisão.

5.2.3. Polutogramas

A elaboração de polutogramas permite estimar a variação temporal da concentração de poluentes e comparar essa variação com a variação da vazão escoada, podendo assim verificar a existência ou não do fenômeno do primeiro fluxo no local. No primeiro evento amostral do Setor Comercial foi possível a coleta de dados durante o início do escoamento, o que permitiu a construção de polutogramas. Para o segundo evento amostral não foi possível coletar dados antes do pico da vazão de escoamento, impossibilitando a elaboração de polutogramas para a verificação do primeiro fluxo.

Os gráficos gerados mostram um acúmulo maior de alguns poluentes nos instantes iniciais do escoamento, como apresentado na figura 5.8:

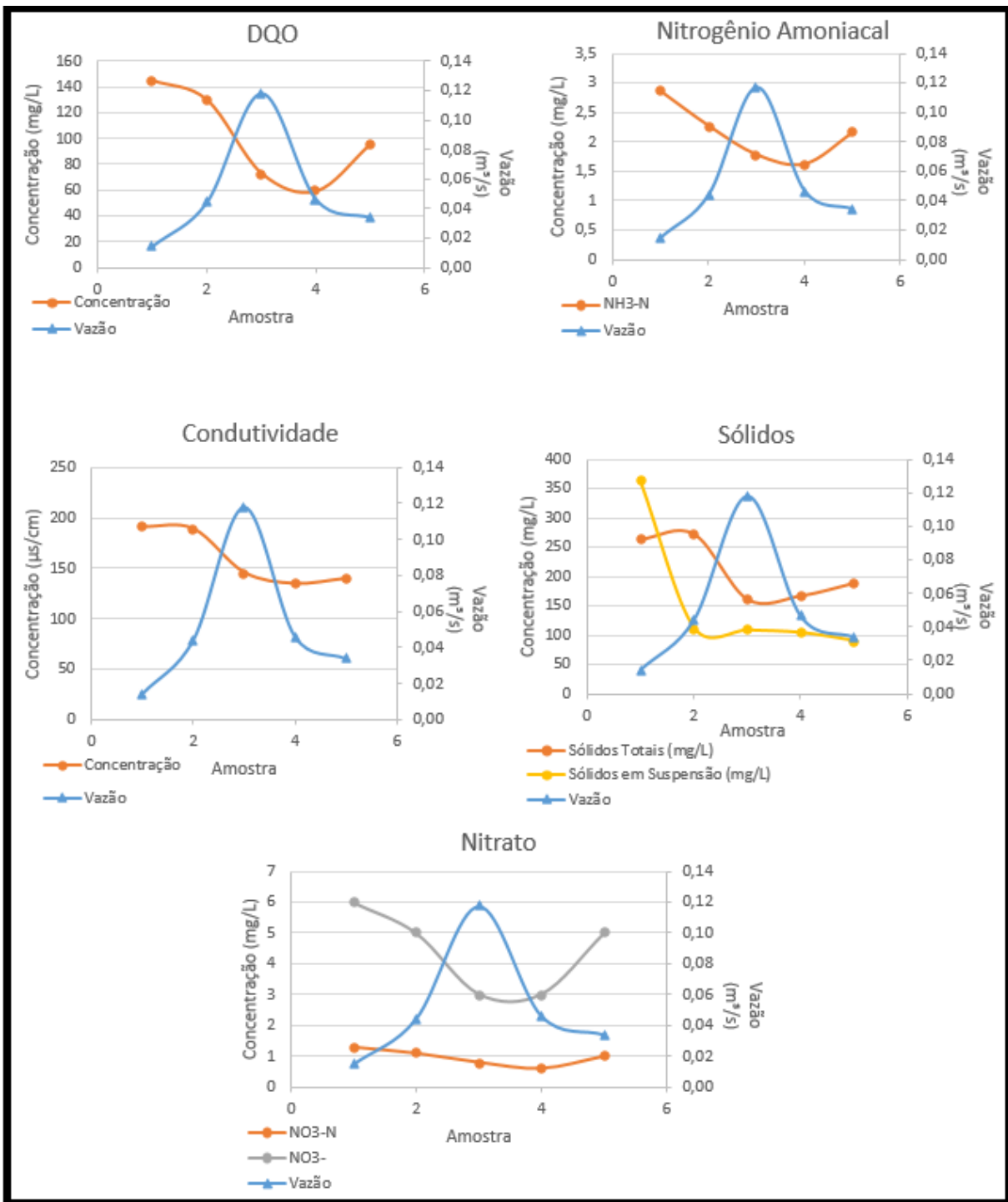


Figura 5.8 – Hidrogramas e polutogramas para o primeiro evento no Setor Comercial Norte

As análises de coliformes totais e *E. coli* mostram uma maior quantidade de organismos no momento de pico da vazão, conforme apresentado na figura 5.9.

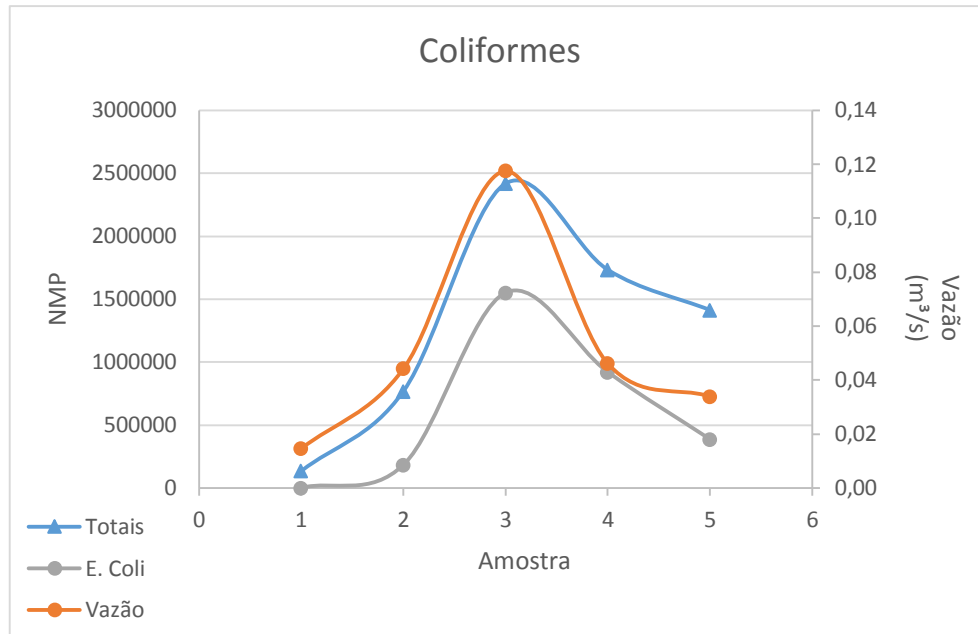


Figura 5.9 - Hidrograma e polutograma de Coliformes no Setor Comercial Norte

Em relação ao fósforo, os dados de maior concentração também são notados no início do escoamento, mas foi possível perceber um aumento das concentrações também no momento de pico da vazão, conforme apresentado na figura 5.10.

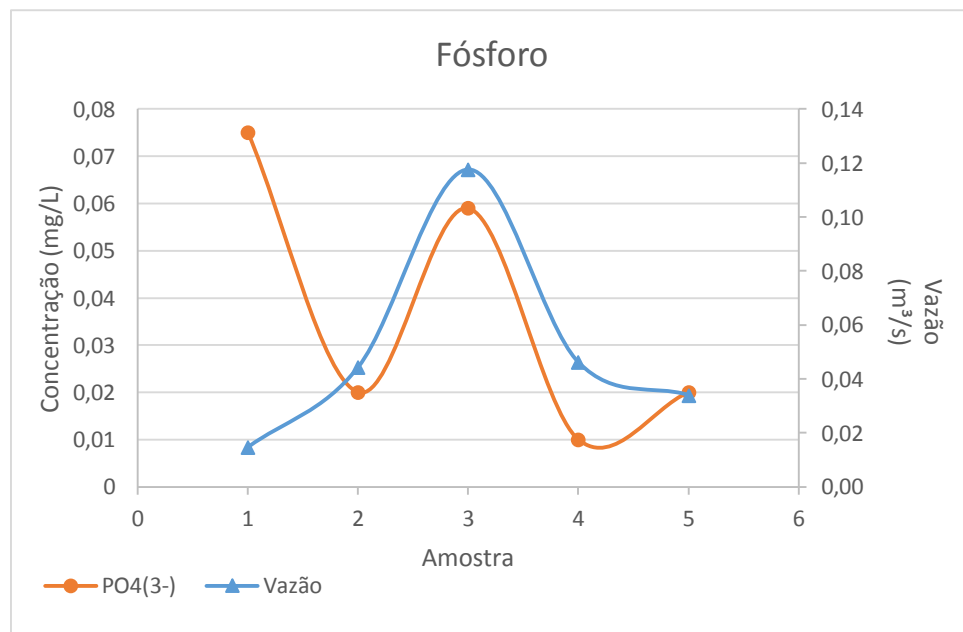


Figura 5.10 - Hidrograma e polutograma do fósforo no Setor Comercial Norte

5.2.4. Concentração Média de Evento

A elaboração dos polutogramas permite perceber que a concentração de poluentes no início do escoamento costuma ser maior que após o seu pico de vazão, sendo assim pouco preciso comparar a concentração dos poluentes em amostras coletadas em diferentes momentos do escoamento. Para evitar essa distorção, foi utilizado o método da Concentração Média de Evento de forma a estimar essa concentração após o pico do escoamento. Temos assim dois dados, a Concentração Média de Evento (CME) e a que estamos chamando de Concentração Média de Evento após o pico (CMEap). Na figura 5.11 é apresentada a diferença entre a CME e a CMEap referente à DQO para o primeiro evento amostral do Setor Comercial Norte.

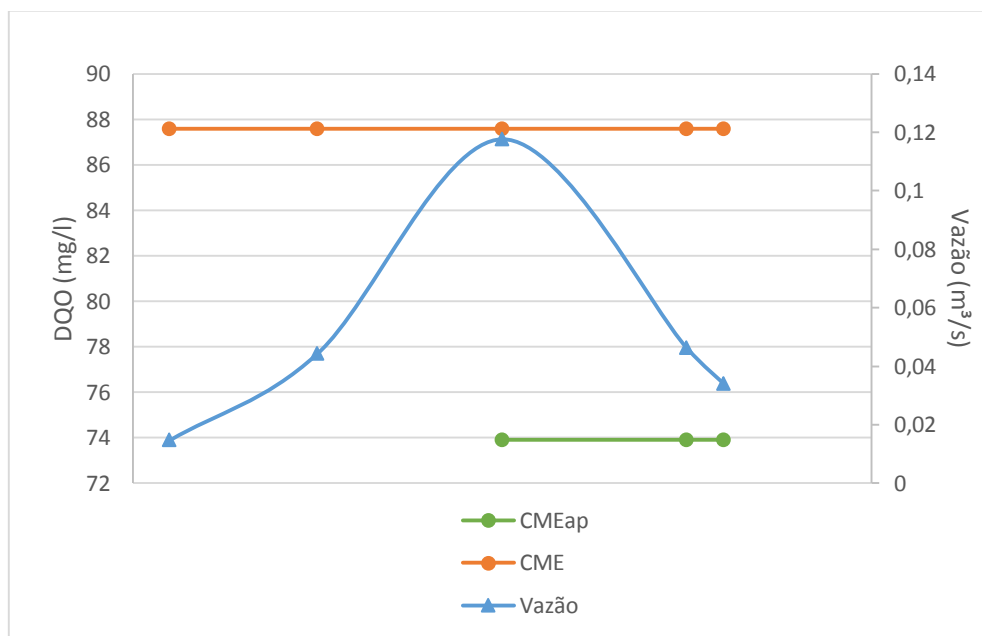


Figura 5.11- Concentrações Médias de Evento – primeiro evento no Setor Comercial Norte

Percebemos que a concentração da DQO diminui bastante após o pico da vazão de escoamento. É possível assim, comparar com os dados obtidos nos dois eventos. A comparação entre as concentrações de DQO dos dois eventos realizada através de método explicitado é mostrada na figura 5.12.

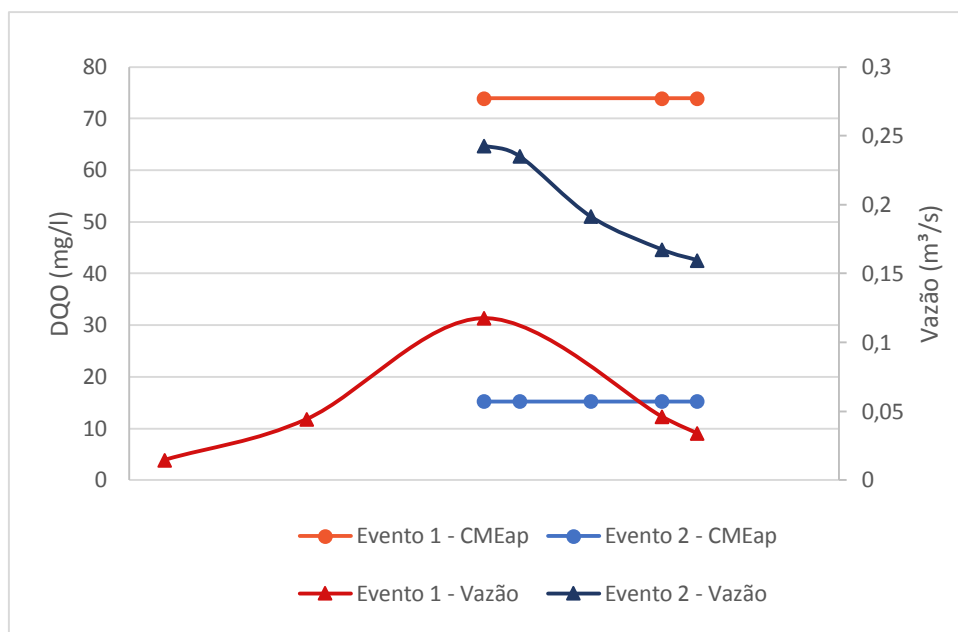


Figura 5.12 - Concentrações Médias de Evento após o pico - Setor Comercial Norte

Apesar de não ter sido possível a coleta de dados no início do escoamento do segundo evento, com a análise da CMEap percebe-se que a concentração de DQO para o primeiro evento é realmente mais alta.

Para o primeiro evento chuvoso, amostrado em setembro de 2015, foi possível gerar dados de CME assim como de CMEap, porém para o segundo evento, amostrado em janeiro de 2016, todas as amostras foram coletadas após o pico da vazão, tornando a CMEap equivalente à CME. Quando analisados dados de CME referentes à outros parâmetros podemos perceber concentração mais altas no primeiro evento para quase todos os parâmetros. Os valores encontrados estão apresentados na tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Concentração média de evento e Concentração média de evento após o pico no Setor Comercial Norte

Componente	CMEap Evento 1	CMEap Evento 2
	set/15	jan/16
Fósforo P (mg/L)	0,0132	0,0833
Nitrogênio Amoniacal NH3-N (mg/L)	1,8	0,67

Nitrato NO3- (mg/L)	3,34	1,60
DQO (mg/L)	73,90	15,25
Sólidos em Suspensão (mg/L)	104	25
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	127,23	13,32
Sólidos Totais (mg/L)	167	91
Condutividade (µs/cm)	142,26	28,89
Coliformes Totais NMP	2086410	202102
<i>E. coli</i> NMP	1205149	10682
pH	6	8

A análise da Concentração Média de Evento mostra que a concentração dos poluentes continua sendo maior no evento de setembro. Podemos então afirmar, que a apesar das variações na vazão do escoamento evidenciado no item 5.2.2, o período de estiagem antes da coleta influenciou diretamente o resultado. Como mostrado no item 5.2, esse período para o primeiro evento foi de 13 dias, sendo um dos primeiros eventos chuvosos significativos do período, enquanto a estiagem em janeiro foi de apenas um dia. O maior tempo de estiagem evidenciado em setembro permitiu um maior acúmulo de resíduos e poluentes, de forma que o evento chuvoso realizou uma lavagem da superfície carreando esses poluentes para o sistema de drenagem e futuramente para o lago Paranoá.

5.3. ENTREQUADRA NORTE 402/403

Para o ponto selecionado na Entrequadra Norte 402/403 foi possível coletar dados referentes ao escoamento superficial em dois eventos chuvosos, um em dezembro de 2015 e outro em março de 2016. Os dados referentes à precipitação horária nos dois eventos chuvosos, coletados pelo pluviógrafo da CAESB são apresentados nas figuras 5.13 e 5.14.

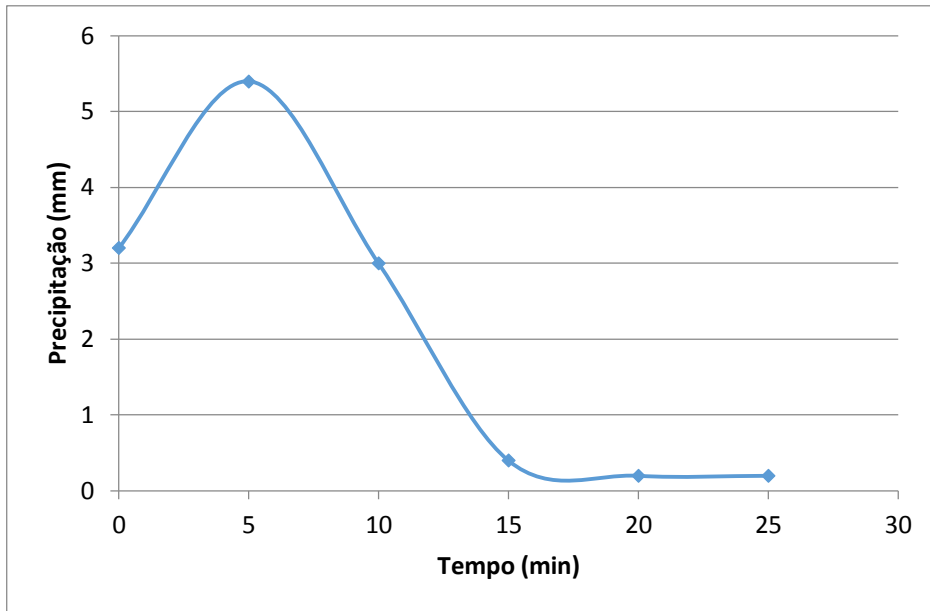


Figura 5.13 - Precipitação horária 20/12/2015 – Estação Caesb - Hidrologia

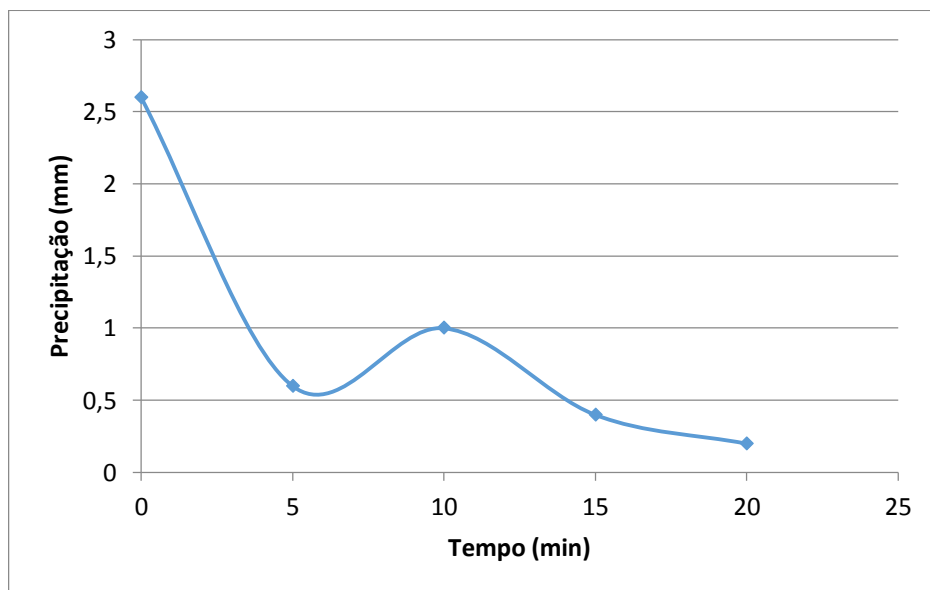


Figura 5.14- Precipitação horária 11/03/2016– Estação Caesb - Hidrologia

A tabela 5.4 mostra a precipitação diária e tempo de estiagem para ambos os eventos a partir de dados da estação Brasília.

Tabela 5.4 – Precipitação e tempo de estiagem na Entrequadra Norte 402/403.

Evento	Data	Precipitação (mm)	Tempo de estiagem
1	20/12/2015	28,9	1 dia
2	11/03/2016	9,2	1 dia

5.3.1 Qualidade

A Tabela 5.5 mostra as faixas de concentração para cada parâmetro analisado nos dois eventos chuvosos referentes a Entrequadra Norte 402/403.

Tabela 5.5 - Concentrações dos parâmetros.

Componente	Evento 1 - 12/15		Evento 2 - 03/16	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Fósforo P (mg/L)	0,02	0,26	0,08	0,21
Nitrogênio Amoniacal NH3-N (mg/L)	1,21	1,33	0,79	1,66
Nitrato NO3- (mg/L)	2	5	0	1
DQO (mg/L)	3,3	136,5	8,4	68,1
Sólidos em Suspensão (mg/L)	50	179	2	96
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	31,7	49,3	13,1	60,5
Sólidos Totais (mg/L)	43	219,5	33	237
Condutividade (µs/cm)	67,2	103,7	28,5	127,1
Coliformes Totais NMP	> 2419600		307600	5794000
<i>E. coli</i> NMP	57100	1396	46500	2064000
pH	6,75	7,19	6	6,9

Para a análise de coliformes totais no evento 1, não foi possível realizar a contagem do NMP de forma adequada, pois a amostra não foi suficientemente diluída, excedendo o NMP máximo da cartela, indicando que existem mais de 2419600 organismos por 100ml.

5.3.2 Vazão

Para os dois eventos amostrados na Entrequadra Norte 402/403, foi possível coletar dados no início da precipitação apenas no segundo evento, realizada em março. Como os intervalos de vazão estão muito distantes (evento 1 a vazão está entre 0,002 e 0,005 m³/s e o evento 2 está entre 0,006 e 0,15 m³/s), os dados de vazão para cada evento são apresentados separadamente nas figuras 5.15 e 5.16.

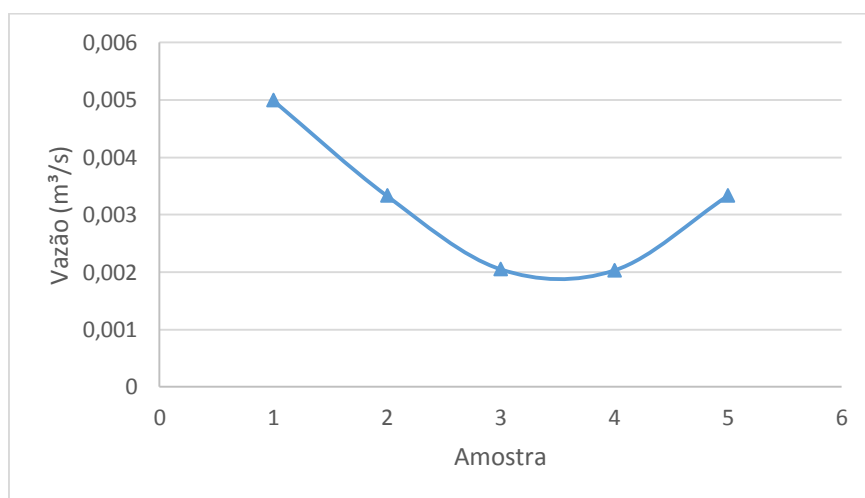


Figura 5.15 - Vazão de Escoamento Evento 1 – dez/15 – Estação Caesb – Hidrologia

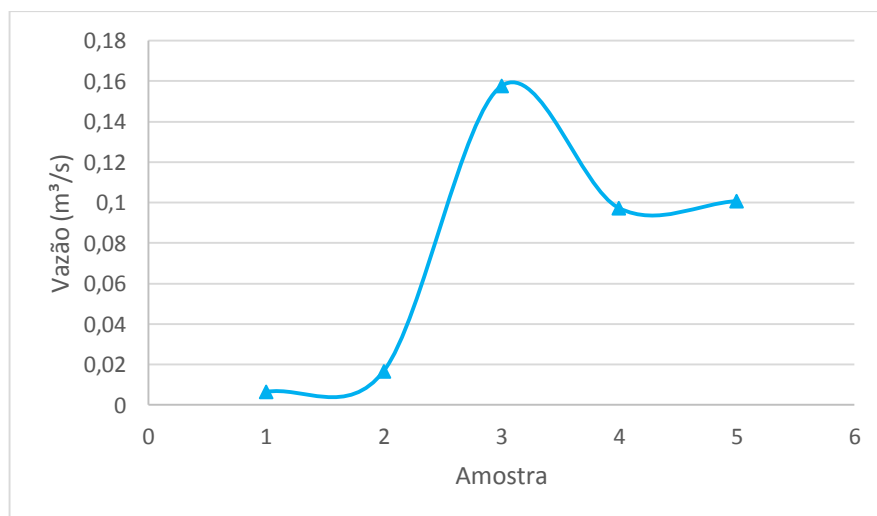


Figura 5.16 - Vazão de Escoamento Evento 2 – mar/16 – Estação Caesb - Hidrologia

No primeiro evento o escoamento superficial foi baixo, de forma que não foi possível medir a vazão a partir do tubo de pitot, sendo medido apenas pelo flutuador. No segundo evento a vazão foi suficiente para a utilização dos dois métodos de medição de vazão apresentados, porém, para a realização das análises utilizou-se os dados do tubo de pitot por apresentar maior precisão.

5.3.3 Polutogramas

A elaboração de polutogramas permite estimar a variação temporal da concentração de poluentes e comparar essa variação com a variação da vazão escoada, podendo assim verificar a existência ou não do fenômeno do primeiro fluxo no local. Para o primeiro evento amostral realizado na Entrequadra Norte 402/403 não foi possível coletar dados antes do pico da vazão de escoamento, impossibilitando a elaboração de polutogramas para a verificação do primeiro fluxo. Foram elaborados assim, polutogramas apenas para o segundo evento, apresentado na figura 5.17.

Quando analisado esse evento amostrado na Entrequadra Norte 402/403, no mês de março, percebemos que os polutogramas da condutividade, nitrogênio amoniacal, sólidos totais e DQO apresentam concentrações mais altas no início do escoamento assim como verificado nos polutogramas elaborados para o Setor Comercial Norte.

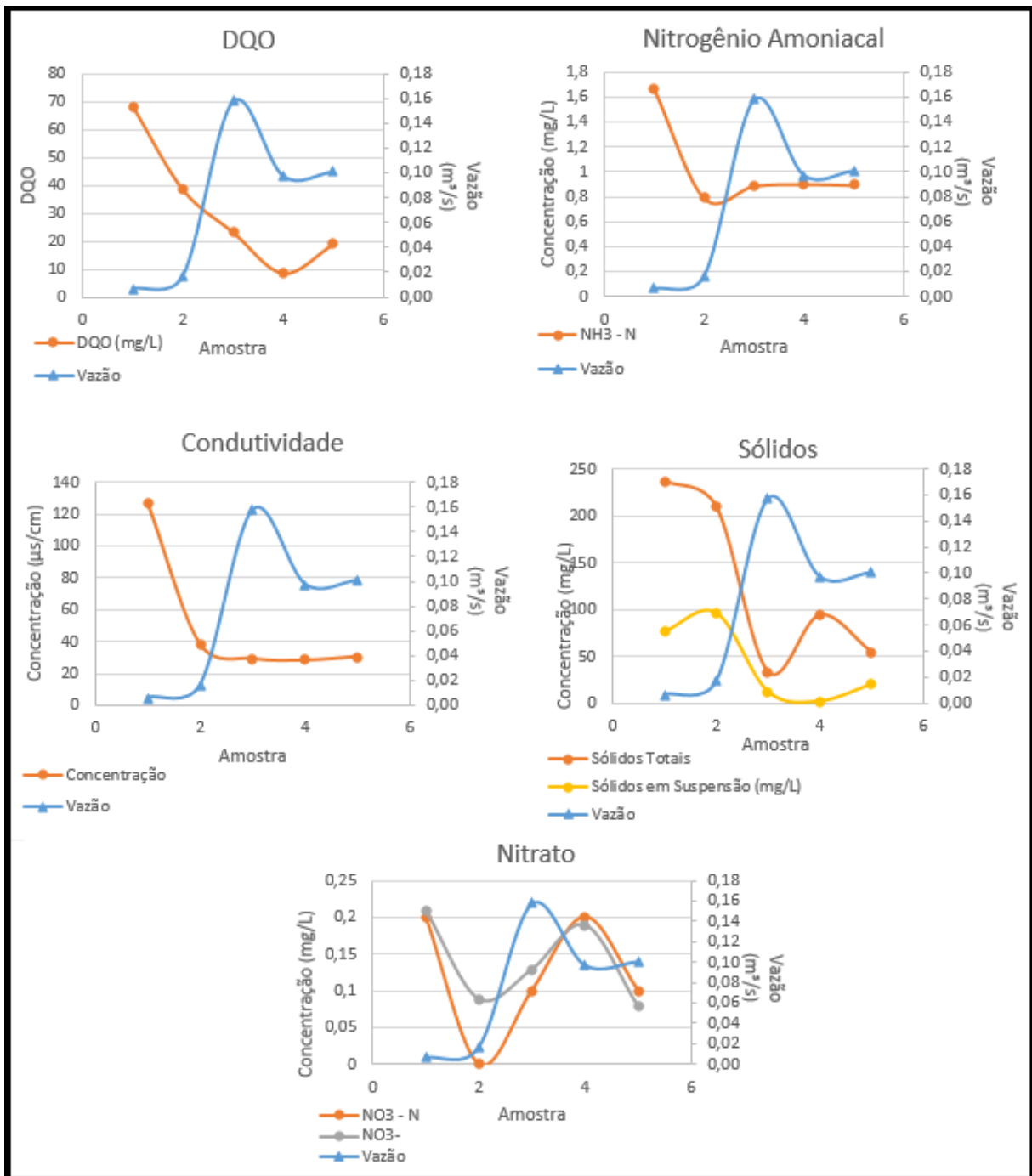


Figura 5.17 – Hidrogramas e polutogramas para o segundo evento na Entrequadra Norte 403

Os valores encontrados para as concentrações de fósforo, assim como no Setor Comercial Norte mostram os dados mais altos de concentração no início do escoamento, mas apresentam também um aumento após de pico da vazão conforme apresentado na figura 5.18, sendo esse aumento deslocado em relação ao evidenciado no Setor Comercial Norte.

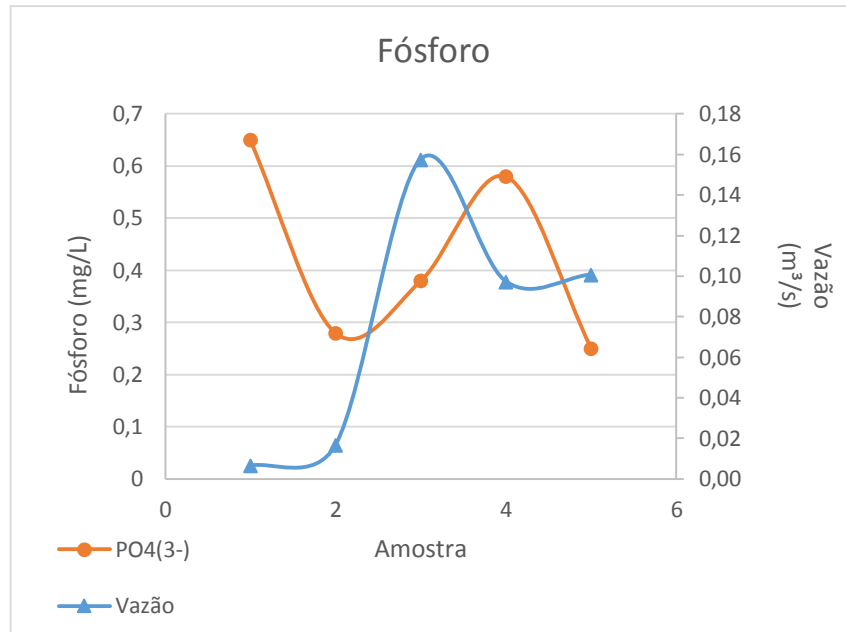


Figura 5.18 - Hidrograma e polutograma para fósforo na Entrequadra Norte 402/403

Para os dados de coliformes, foi demonstrado também, um deslocamento do pico em relação ao encontrado no Setor Comercial, sendo que esse deslocamento coincide com o encontrado nas concentrações de fósforo conforme apresentado na figura 5.19.

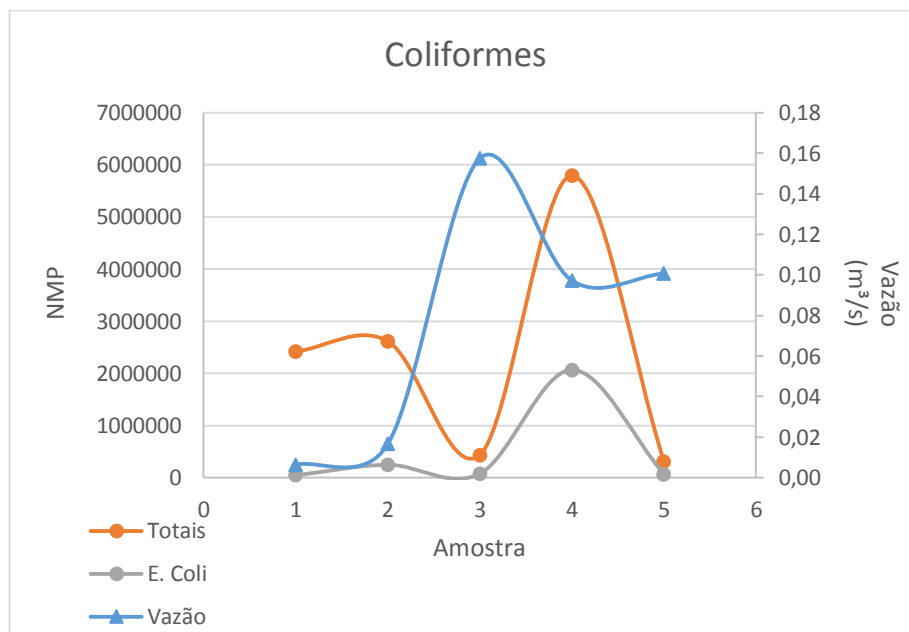


Figura 5.19 - Hidrograma e polutograma para Coliforme na Entrequadra Norte 403

Esse deslocamento pode ter ocorrido devido a presença de caçambas de ferro destinadas a acomodação dos resíduos sólidos, muito comum em áreas comerciais e residenciais no centro de Brasília. Devido ao longo tempo de uso, essas podem ter buracos devido a corrosão permitindo a passagem da água no momento da precipitação, mesmo com o término das chuvas a caçamba continua contribuindo para o escoamento superficial com uma maior quantidade de poluentes devido ao lixo ali guardado. Esse processo explica o pico de coliformes estar deslocado.

5.3.4 Concentração Média de Evento após o pico - CMEap

Assim como para o Setor Comercial Norte, foi utilizado o método da Concentração Média de Evento para evitar distorções, os valores encontrados estão apresentados na tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Concentração média de evento após o pico na Entrequadra Norte 402/403

Componente	CMEap Evento 1	CMEap Evento 2
	dez/15	mar/16
Fósforo P (mg/L)	13,63	0,13
Nitrogênio Amoniacal NH3-N (mg/L)	1,24	0,89
Nitrato NO3- (mg/L)	3,76	1,00
DQO (mg/L)	56,54	17,86
Sólidos em Suspensão (mg/L)	103	12
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	37,56	13,63
Sólidos Totais (mg/L)	124	56
Condutividade (µs/cm)	79,4	29,62
Coliformes Totais NMP	>2419600	1864613
<i>E. coli</i> NMP	78314	618391
pH	7	6

A CMEap para o evento 1 são maiores em quase todos os parâmetros, evento esse de menor vazão. Exceto para os dados de *E. coli* e fósforo, onde os maiores valores ocorrem no evento 2.

5.4. SUPERQUADRA NORTE 202

Para o ponto selecionado na Superquadra Norte 202 foi possível coletar dados referentes ao escoamento superficial em apenas um evento chuvoso, realizado no dia 7 de março de 2016, não sendo possível comparar dados das bacias para diferentes eventos. A tabela 5.7 mostra a precipitação diária e tempo de estiagem para o evento a partir de dados da estação Brasília:

Tabela 5.7 - Precipitação e tempo de estiagem na Superquadra Norte 202.

Evento	Data	Precipitação (mm)	Tempo de estiagem
1	07/03/2016	8,1	1 dia

Na Tabela 5.8 são apresentadas as faixas de concentração de cada parâmetro analisado no evento chuvoso referente a Superquadra Norte 202.

Tabela 5.8 - Concentração dos parâmetros na Superquadra Norte 202.

Componente	Evento 1 - 03/16	
	Mínimo	Máximo
Fósforo P (mg/L)	0,05	0,12
Nitrogênio Amoniacal NH3-N (mg/L)	0,96	1,26
Nitrato NO3- (mg/L)	6	8
DQO (mg/L)	51,7	78,3
Sólidos em Suspensão (mg/L)	58	240
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	30,4	39,5
Sólidos Totais (mg/L)	242	693
Condutividade (µs/cm)	64,9	82,5
Coliformes Totais NMP	95900	461100
<i>E. coli</i> NMP	4100	96000
pH	7,6	7,7

No evento o escoamento superficial foi baixo, dessa forma não foi possível medir a vazão a partir do tubo de pitot, sendo medido apenas pelo flutuador. O gráfico com o dado de vazão do evento está apresentado na figura 5.20.



Figura 5.20 - Vazão para o evento chuvoso na Superquadra Norte 202

Não foi possível para o local coletar dados de vazão e concentração de poluentes antes do pico do escoamento, não tornando possível a elaboração de polutogramas para essa área. Para a análise qualitativa do escoamento nesse local foi utilizado o método da Concentração Média de Evento, os valores encontrados estão apresentados na tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Concentração média de evento na Superquadra Norte 202.

Componente	CMEap Evento 1
	mar/16
Fósforo P (mg/L)	0,12
Nitrogênio Amoniacal NH3-N (mg/L)	0,99
Nitrato NO3- (mg/L)	7,37
DQO (mg/L)	73,16
Sólidos em Suspensão (mg/L)	191
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	31,17
Sólidos Totais (mg/L)	543
Condutividade (µs/cm)	68,25
Coliformes Totais NMP	153030
<i>E. coli</i> NMP	10644
pH	7,72

A Concentração Média de Evento para a superquadra norte 202 corresponde à CMEap, e apesar de não ser possível comparar com outros eventos no local a CMEap pode ser utilizada para uma comparação entre diferentes áreas.

5.5. COMPARAÇÃO ENTRE ÁREAS

A vazão específica foi calculada para todos os eventos chuvosos evidenciados e está apresentada na figura 5.21. Para realizar comparações qualitativas foram selecionados eventos com a vazão específica similar.

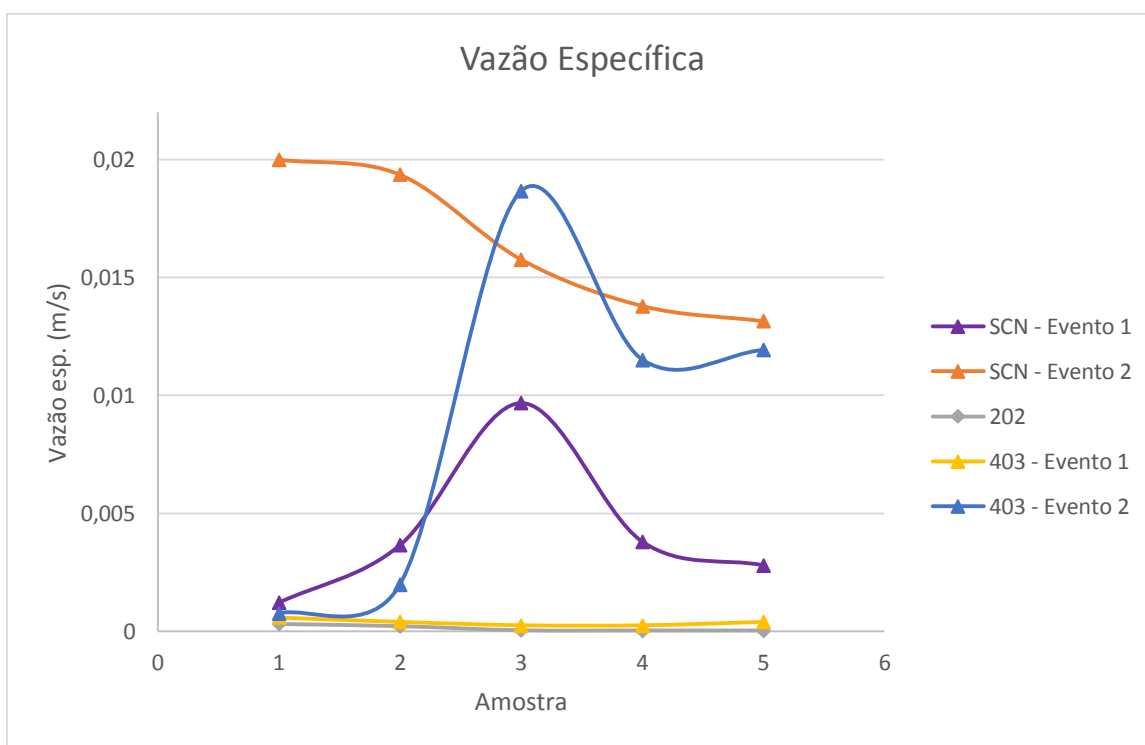


Figura 5.21 - Vazão específica de todos os eventos chuvosos

A figura 5.22 apresenta as vazões específicas do primeiro evento chuvoso do Setor Comercial Norte e do segundo evento chuvoso da Entrequadra Norte 402/403, sendo que o pico de vazão foi evidenciado em ambos eventos.

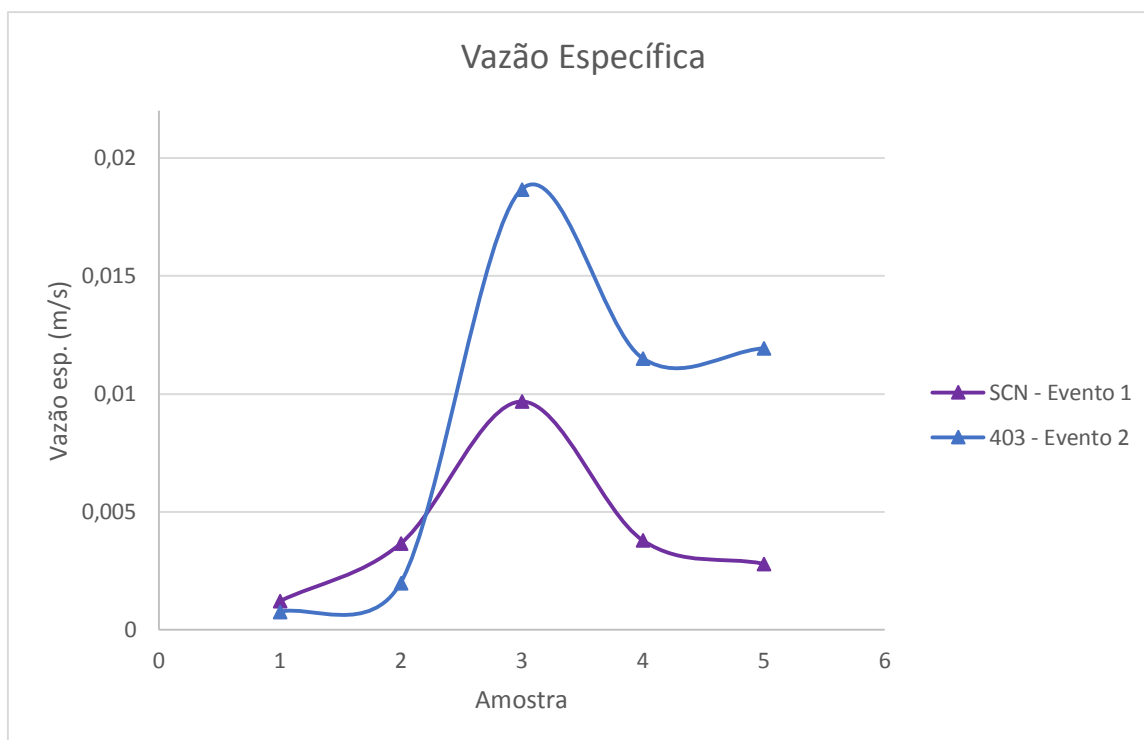


Figura 5.22- Vazão específica do SCN e da 402/403 Norte

Para os mesmos eventos foi elaborada a tabela 5.10 com as concentrações médias de evento obtidas nos dois locais.

Tabela 5.10 – Concentração média de evento para o Setor Comercial Norte e a Entreequadra Norte 402/403

Componente	CME Evento 1	CME Evento 2
	SCN	402/403
Fósforo P (mg/L)	0,0127	0,13
Nitrogênio Amoniacal NH3-N (mg/L)	1,94	0,9
Nitrato NO3- (mg/L)	3,78	0,96
DQO (mg/L)	87,57	19,62
Sólidos em Suspensão (mg/L)	120	16,35
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	118,84	14,62
Sólidos Totais (mg/L)	191	65,52
Condutividade (µs/cm)	153,23	31,67
Coliformes Totais NMP	1747815	1907054,35
<i>E. coli</i> NMP	960438,88	592244,16
pH	6,49	6,31

A partir da CME dos dois eventos percebemos que para os dados de nitrato, nitrogênio amoniacal, sólidos, DQO e condutividade os valores encontrados no Setor Comercial Norte são maiores. Apenas os dados referentes à coliformes e fósforo foram mais altos na Entrequadra Norte 402/403. Os dados para *E. coli* se apresentaram mais altos provavelmente devido à maior proximidade do local com a área residencial além da existência de lojas de PetShop na quadra, aumentando a presença de animais no local.

A figura 5.23 mostra a comparação entre as vazões específicas do primeiro evento chuvoso da Entrequadra Norte 402/403 com o ocorrido na Superquadra Norte 202, em ambos os eventos as coletas ocorreram após o pico de vazão.

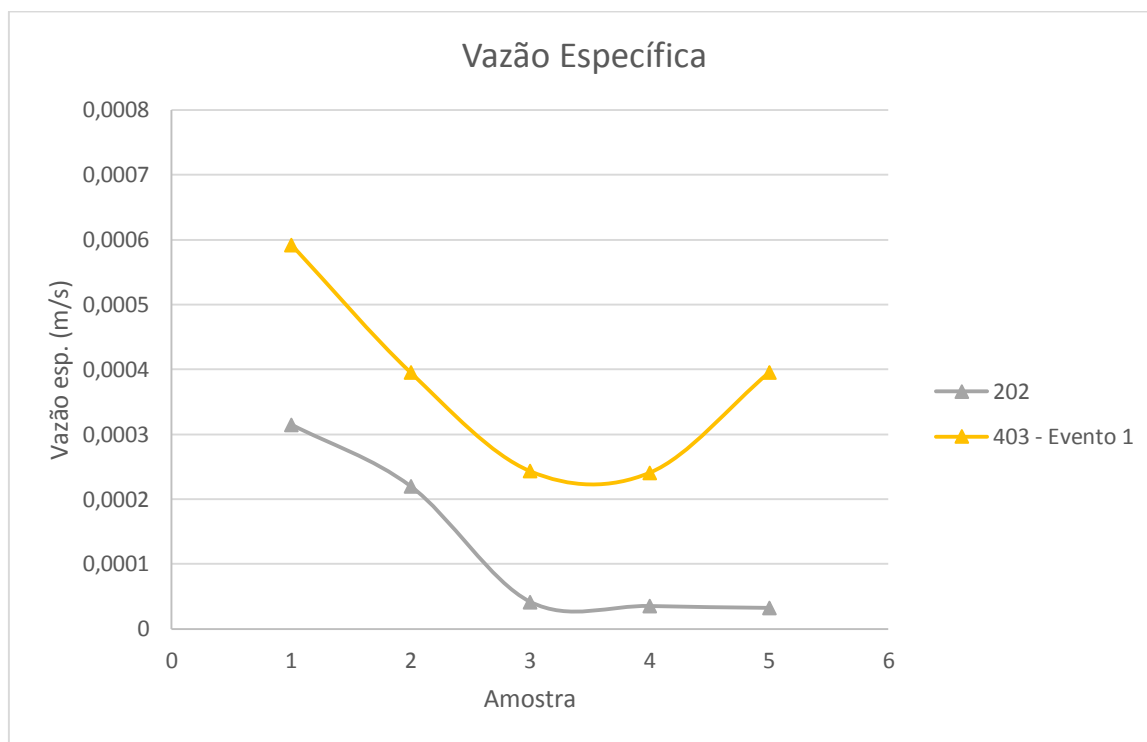


Figura 5.23 - Vazão específica da 402/403 Norte e da 202 Norte.

Para os mesmos eventos foi elaborada a tabela 5.11 com as concentrações médias de evento obtidas nos dois locais.

Tabela 5.11 – Concentrações médias de eventos.

Componente	CMEap Evento 2 402/403	CMEap Evento 1 202
Fósforo P (mg/L)	0,13	0,12
Nitrogênio Amoniacal NH3-N (mg/L)	1,24	0,99
Nitrato NO3- (mg/L)	3,76	7,37
DQO (mg/L)	56,54	73,16
Sólidos em Suspensão (mg/L)	12	191
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	37,56	31,17
Sólidos Totais (mg/L)	56	543
Condutividade (µs/cm)	79,4	68,25
Coliformes Totais NMP	>2419600	153030
<i>E. coli</i> NMP	78314	10644
pH	6,97	7,72

Apesar da Superquadra Norte 202 ser considerada como residencial e apresentar um número alto de animais, a concentração de coliformes encontrada foi menor, já que nesse ponto não são encontrados outros tipos de estabelecimento que possam contribuir para a concentração de coliformes. No dia da coleta na Superquadra Norte 202 foi evidenciada uma obra próximo ao ponto de monitoramento, conforme apresentado na figura 5.24, o que pode explicar a grande concentração de sólidos encontrados para o local.



Figura 5.24– Obra na semana da coleta de dados na Superquadra Norte 202

O nitrato, DQO, sólidos em suspensão, sólidos totais e pH apresentam valores maiores para a Superquadra Norte 202, os demais parâmetros estão com menor concentração quando comparados com a Entrequadra Norte 402/403. Vale ressaltar que os dois eventos foram coletados em março, apresentando dados referentes à qualidade do escoamento superficial no final do período chuvoso.

Quando comparadas com os valores encontrados para a 403, os valores de fósforo e coliformes apresentadas na tabela 5.11 são maiores do que os encontrados nos outros locais de estudo. Algumas fontes de fósforo incluem fertilizantes, principalmente na área rural, e descargas de esgoto sanitários e detergentes domésticos. O fósforo em zonas urbanas pode ser um indicador de águas cinzas, que incluem águas residuárias urbanas oriundas de lavagens e banho, enquanto os coliformes são utilizados como indicadores de contaminação fecal. Como citado anteriormente, a alta quantidade de coliformes nesse local pode estar relacionada com a presença

de animais domésticos na região. A concentração significativa de fósforo pode ter origem na lavagem das lojas e calçadas, no uso de detergentes e sabão nos restaurantes e petshops, respectivamente além da lavagem de varandas de quitinetes que possuem saídas para a rua.

5.6 ENQUADRAMENTO E PARÂMETROS

Como já mencionado anteriormente, o lago Paranoá está inserido na classe 2 segundo o enquadramento. A Resolução N° 430/2011 do CONAMA estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução N° 357, de 17 de março de 2005 do CONAMA que estabelece as condições e padrões de lançamento de para cada classe. Considerando o escoamento superficial como um efluente, pode-se comparar as concentrações encontradas nas análises com os padrões de emissão de efluentes permitidos pela resolução. As concentrações dos parâmetros analisados em cada evento de cada micro-bacia estudada e os padrões estabelecidos para esses parâmetros na resolução são relacionados na tabela 5.12.

Tabela 5.12 - Concentrações dos parâmetros e padrões para os 5 eventos amostrais

Parâmetros	Padrões Valor Máximo	Setor Comercial Norte		Comercial 402/403 Norte		Quadra 202 Norte
		Evento 1	Evento 2	Evento 1	Evento 2	Evento 1
pH	6,0 a 9,0	5,5 a 6,7	6,9 a 8,5	5,3 a 7,2	4,6 a 6,8	7,4 a 7,7
Sólidos Dissolvidos Totais	500 mg/L	169,5	15,7	49,3	60,5	39,5
Fósforo Total	0,025 mg/L	0,024	0,12	0,26	0,21	0,13
Nitrato	10 mg/L	6	2	5	1	8
Nitrogênio Amoniacal	3,7mg/L, (pH ≤ 7,5) 2,0 mg/L, (7,5 < pH ≤ 8,0) 1,0 mg/L, (8,0 < pH ≤ 8,5) 0,5 mg/L, (pH > 8,5)	2,86	0,84	1,33	1,66	1,26

Nota-se que os únicos parâmetros que não estão dentro dos padrões estabelecidos são o pH e o fósforo total. O fósforo total é um importante parâmetro a ser analisado, pois tem grande impacto no lago Paranoá, localizado em Brasília - D.F. Esse passou por um grande processo de eutrofização ao longo dos anos devido ao lançamento de águas residuárias, as vezes não tratada

devidamente. Segundo Baptista e Neto, no lago Paranoá o processo de eutrofização é artificial e em estágio bastante avançado e as estações de esgoto lançam cerca de 71% do fosfato no lago.

Os valores encontrados para fósforo total nos três locais monitorados foram elevados e como mostrado na tabela 5.12 estão a cima do limite permitido pela Resolução CONAMA n 430 que estabelece os padrões de lançamento para águas residuárias, por isso são dados relevantes que necessitam de maiores pesquisas acerca do assunto, já que a qualidade da água do escoamento superficial pode contribuir com as cargas de fósforo lançadas no lago Paranoá.

5.7 ANÁLISE DE METAIS

Como a Quadra 702 Norte é uma área com elevada concentração de oficinas foi realizada a análise de metais no dia 14 de fevereiro de 2016, durante um evento chuvoso. Na Tabela 5.13 são apresentados os resultados da análise laboratorial em comparação com a Resolução N° 430/2011 do CONAMA.

Tabela 5.13 - Concentração de metais e padrões

Metais	Padrões Valor Máximo (mg/L)	Quadra 702 Norte (mg/L)
Alumínio (Al)	0,1	0,09
Ferro (Fe)	0,3	0,04
Vanádio total (V)	0,1	< 0,01
Cromo total (Cr)	0,05	< 0,01
Manganês total (Mn)	0,1	0,007
Cobalto total (Co)	0,05	< 0,01
Níquel total (Ni)	0,025	< 0,01
Cobre dissolvido (Cu)	0,009	0,016
Zinco (Zn)	0,18	0,3
Cádmio (Cd)	0,001	< 0,01
Chumbo (Pb)	0,01	< 0,01

Na análise dos metais o cobre dissolvido (Cu), o zinco total (Zn) e o cádmio total (Cd) estão fora dos padrões exigidos de lançamentos, esse fato pode ser explicado pela característica da área, onde predominam oficinas que despejam rejeitos que podem conter altos valores de metais, como a pastilha de freio dos carros, que pode explicar uma maior concentração de zinco na análise.

5.8 ANÁLISE DA CHUVA

De acordo com Pereira e Martins, a condutividade elétrica da chuva é uma boa análise para determinar a poluição atmosférica de determinada região, pois mostra a concentração de sais dissolvidos na água. Citam também, que não existe um valor ideal estabelecido para a condutividade da água da chuva, mas normalmente podem ser classificados como locais poluídos aqueles que apresentam a condutividade igual a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. No estudo citado, os autores encontraram resultados que relacionam a condutividade da chuva com o nível de urbanização do local, foram encontrados valores mais altos para locais urbanizados com alto fluxo de veículos e valores mais baixos para locais menos urbanizados que apresentam grande quantidade de áreas verdes e árvores. A tabela 5.14 apresenta os valores de condutividade encontrados para cada área estudada no trabalho.

Tabela 5.14 - Resultado da condutividade elétrica da água da chuva em dez bairros da cidade de Lages-SC.

Local da coleta	Condutividade das amostras ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	
	Diurno	Noturno
Centro 1	28,76	29,83
Centro 2	30,42	37,84
Cristal	6,06	S.A
Guarujá	5,3	4,3
Petrópolis	7,43	10,99
Santa Helena	50,34	S.A
Dom Daniel	7,47	6,01
São Paulo	9,85	37,59
Caravágio	34,32	23,52
Santa Catarina	29,13	16,31

Fonte: Adaptado de Pereira e Silva

Nota-se o mesmo padrão para as amostras coletadas nos três locais de monitoramento, Setor Comercial Norte, Entrequadra Norte 402/403 e Superquadra Norte 202. O valor mais alto de condutividade ocorreu para o Setor Comercial Norte, onde existe um alto fluxo de veículos durante todo o dia e a área é bem urbanizada, diferente dos outros locais (Entrequadra Norte 402/403 e a Superquadra Norte 202), que existe uma grande parcela da área com a presença de árvores, o que explica a menor condutividade encontrada.

Os valores de condutividade são apresentados na tabela 5.15, realizados para as amostras da chuva nas datas de coleta e o tempo antecedente sem chuva. Como dito, valor mais alto de condutividade ocorreu no primeiro evento chuvoso coletado, realizado no dia 28 de setembro de 2015. Como foi a primeira chuva intensa do período, também podemos considerar que na atmosfera a concentração de poluentes como NO_3^- e SO_4^{2-} foi maior, lançados principalmente por escapamento de carros. Com o passar das chuvas é normal que a concentração desses poluentes na atmosfera diminua, por isso os valores baixos encontrados nos outros meses de coleta (Pereira e Martins).

Tabela 5.15 - Parâmetros analisados para chuva

Eventos	Data	Local	Tempo sem chuva	pH	Condutividade ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Sólidos totais dissolvidos
1	28/09/2015	Setor Comercial Norte	13 dias	5,49	32,8	15,2
2	20/12/2015	Comercial 402/493 Norte	1 dia	5,27	13,52	5,8
3	21/01/2016	Setor Comercial Norte	1 dia	6,87	2,51	0,7
4	07/03/2016	Super Quadra 202 Norte	1 dia	7,39	19,32	8,7
5	11/03/2016	Comercial 402/493 Norte	1 dia	4,63	3,42	1,1

A literatura define chuva ácida como a que apresenta valores abaixo de 5,6, sendo que afeta negativamente o ambiente devido à acidificação do solo e da água além do potencial de corrosividade. Chuvas com valores mais baixos de pH costumam ser mais frequentes em locais próximos a indústrias, mas as análises nesse estudo realizadas evidenciam esse fenômeno na Asa Norte, sendo que uma das análises apresentou pH abaixo de 5.

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Relacionando os polutogramas elaborados para o Setor Comercial Norte e para a Entrequadra Norte 402/403 foi possível notar um comportamento comum nas duas áreas comprovando o evento do Primeiro Fluxo relatado na bibliografia, de forma que esse fenômeno deve ser considerado para se propor soluções drenagem que reduzam o transporte de poluentes para o lago.

Após os cálculos apresentados para as áreas de contribuição de cada micro-bacia, percebe-se que na Superquadra Norte 202 a área é menor em relação as outras, assim o tempo de concentração é menor dificultando uma análise consistente para os parâmetros, principalmente em intervalos de 5 minutos, usado para o trabalho. Recomenda-se que para próximas análises sejam selecionadas micro-bacias com um maior área e tempo de concentração, e se possível menor intervalo entre as amostragens.

A análise da chuva feita de forma conjunta com a análise do escoamento superficial é um indicador importante para obter informações de poluentes que podem estar contribuindo para a má qualidade do escoamento superficial advindos da atmosfera. Percebeu-se após a discussão dos resultados que a condutividade está diretamente relacionada com o tempo de estiagem antecessor a coleta e o nível de urbanização do local amostrado.

Foi evidenciado a partir do trabalho a dificuldade de coletar amostras no início do escoamento para as três áreas selecionadas, de forma que mesmo limitando a possibilidade de comparar a geração de poluentes em áreas com diferentes tipos de ocupação, se fosse coletado um maior número de amostras em um mesmo ponto talvez fosse possível chegar à conclusões mais precisas, possibilitando verificar não apenas o fenômeno de Primeiro Fluxo mas também a variação das concentrações em relação ao período de estiagem e variações no local de coleta (obras e existência de lixo por exemplo).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAPTISTA, G. M. M. e NETO, M. D. A. **o processo de eutrofização no lago Paranoá, Brasília – DF.** (n.d)
- BRASIL. Política Nacional do Meio Ambiente, lei Federal, 6.938/81. 1981.
- BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos, lei Federal, 9.433. 1997.
- BRASIL. Resolução CONAMA n° 430/2011 dispõe a respeito dos padrões de lançamento estipulado, essa resolução completa e altera a Resolução CONAMA n°357/2005.
- BRASIL. Resolução de Recursos Hídricos do Distrito Federal n° 01, de 22 de outubro de 2014 dispõe sobre a proposta de enquadramento de cursos d'água de domínio da União no Distrito Federal originada no Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba - CBH Paranaíba.
- CAMPANA, N. A.; BERNARDES, R. S. Qualidade do escoamento na rede de drenagem pluvial urbana: a situação de Brasília-DF. **REGA**, v. 7, n. 2, p. 53-65, jul/dez 2010.
- CAMPANA, N. A.; BERNARDES, R. S.; SILVA JR., J. A. Controle qualitativo e quantitativo do escoamento pluvial urbano com bacias de retenção. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 2, n. 3, p. 98-111, 2007.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de textos, 2005.
- COSTA, D. F. **Estimação de poluentes em sistemas urbanos de drenagem de águas pluviais**. Tese de mestrado, Escola de Engenharia, Universidade do Minho. Guimarães, Portugal. 2012.
- COSTA, M. E. L. **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, p. 139. 2013.
- DISTRITO FEDERAL. Resolução n° 09, de 08 de abril de 2011. Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA). Brasília, DF.
- FERREIRA, L. C. A. **Variação da qualidade da água do escoamento superficial de duas bacias de drenagem de Natal/R - Brasil**. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2008.

- GOMES, V. M. **Aspectos qualitativos e quantitativos da água de drenagem pluvial em sub-bacia urbana na cidade de Brasília-DF**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-068/04, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, DF, p. 85. 2004.
- GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL – GDF. **Plano diretor de drenagem urbana do Distrito Federal**. Programa de saneamento básico do Distrito Federal, Secretaria de Estado de Obras. Brasília. 2008.
- HAUPT, J. P. O. **Metodologia para avaliação do potencial de produção de poluição difusa: estudo de caso da bacia do rio Jundiaí**. Dissertação Mestrado - Escola politécnica de universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, p. 126. 2009.
- LUCAS, A. H.; SOBRINHA, L. A.; MORUZZI, R.B.; BARBASSA, A. P. **Avaliação da construção e operação de técnicas compensatórias de drenagem urbana: o transporte de finos, a capacidade de infiltração, a taxa de infiltração real do solo e a permeabilidade da manta geotêxtil**. Artigo técnico, 2015.
- MACIEL, R. R. **Controle da poluição difusa em drenagem urbana**. Universidade Anhembimorumbi. São Paulo. 2003.
- MENEZES, P. H. B. J. **Avaliação dos efeitos das ações antrópicas no processo de escoamento superficial e assoreamento na bacia do Lago Paranoá**. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Geociências Aplicadas (Área de concentração Geoprocessamento e Análise Ambiental), do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. 2010.
- PEREIRA, K. O.; MARTINS, L. H. B. **Avaliação da condutividade elétrica da água da chuva como indicador de poluição**. Instituto Federal Santa Catarina. (n.d)
- POMPÊO, C. A. Drenagem Urbana Sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, RS, v. 5, n. 1, p. 15-23, 2000.
- PORTO, M. F. A.; SILVA, J. C. A. **Recuperação de córregos urbanos através do controle de cargas pontuais e difusas. Córrego Ibiraporã - SP**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. 2015.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO - PMSP. **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo**. São Paulo: FCTH-USP, 1999. 289 p.

- PRODANOFF, J. H. A. Avaliação da Poluição Difusa Gerada por Enxurradas em Meio Urbano. Tese de Doutorado., UFRJ-COPPE, 2005.
- SILVA, E. P.; SIQUEIRA, E. Q. **Caracterização do carreamento de poluentes de superfícies asfálticas urbanas utilizando chuva simulada.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. 2015.
- SILVA, A. H. C. L. **Controle da poluição difusa de origem pluvial em uma via de tráfego intenso por meio de trincheira de infiltração e vala de detenção.** Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2009.
- SILVA, J. C. A. **Recuperação de córregos urbanos através do controle de cargas pontuais e difusas. Estudo de caso: Córrego Ibiraporã e do Sapé.** Dissertação de mestrado apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2014.
- SNIS. **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2013.** Brasília: SNSA/MCIDADES, 2014.
- SOUZA, V. C. B. **Gestão da drenagem urbana no Brasil: desafios para a sustentabilidade.** Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA). 2013.
- TUCCI, C. E. M. **Curso de Gestão das inundações urbanas.** Porto Alegre: UNESO - Global Water Partnership South America - Asociación Mundial del Agua, 2005.
- TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas.** Brasília: Ministério das Cidades - Global Water Partnership - World Bank - Unesco, 2005.
- TUCCI, C. E. M. **Águas Urbanas.** 63. ed. São Paulo: v. 22, 2008.
- URBAN DRAINAGE AND FLOOD CONTROL DISTRICT. **Urban storm drainage criteria manual.** Denver: Urban Drainage and Flood Control District, v. 3, 1991. 665 p.
- U.S. EPA (1983) **Results of the Nationwide urban runoff program**, vol. 1 Final Report, NTIS PB84-185552, U.S Environmental Protection Agency, Washington, DC.