



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente

Mestrado em Engenharia Ambiental



AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUAS DE DRENAGEM URBANA  
CORRELACIONADA AOS POLUENTES ORIGINADOS PELO TRÁFEGO DE  
VEÍCULOS AUTOMOTORES: Estudo de Caso do Túnel Rebouças na Bacia Contribuinte da  
Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ

Flávio Louchard de Menezes

Orientadora: Thereza Christina de Almeida Rosso

Co-Orientador: Gandhi Giordano

Rio de Janeiro

Dezembro de 2004

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUAS DE DRENAGEM URBANA  
CORRELACIONADA AOS POLUENTES ORIGINADOS PELO TRÁFEGO DE  
VEÍCULOS AUTOMOTORES: Estudo de Caso do Túnel Rebouças na Bacia Contribuinte da  
Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ

Flávio Louchard de Menezes

Trabalho Final submetido ao Programa de Pós-  
graduação em Engenharia Ambiental da  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ,  
como parte dos requisitos necessários à obtenção do  
título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada por:

---

Prof<sup>a</sup>. Thereza Christina de Almeida Rosso, D.Sc. - Presidente  
PEAMB/UERJ

---

Prof Gandhi Giordano, D.Sc.  
PEAMB/UERJ

---

Prof<sup>a</sup> Juacyara Carbonelli Campos, D.Sc.  
EQ/UFRJ

---

Prof Luiz Cláudio de Santa Maria, D.Sc.  
IQ/DQO/UERJ

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2004

MENEZES, FLÁVIO LOUCHARD

Avaliação da qualidade de águas de drenagem urbana correlacionada aos poluentes originados pelo tráfego de veículos automotores: Estudo de caso do Túnel Rebouças na Bacia Contribuinte da Lagoa Rodrigo de Freitas. [Rio de Janeiro] 2004.

xii, 117 p. 29,7 cm (FEN/UERJ, Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental - Área de Concentração: Saneamento Ambiental - Controle da Poluição Urbana e Industrial, 2004.)

Dissertação - Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

1. Qualidade de água;
  2. Drenagem pluvial;
  3. Poluição oriunda do tráfego de veículos;
  4. Escoamento superficial;
  5. Lagoa Rodrigo de Freitas;
- I. FEN/UERJ II. Título (série)

Este trabalho é dedicado primeiramente a Deus, porque dele são todas as coisas, também a meus pais, Oyhama de Menezes e Maria Louchard de Menezes, que em companhia de meu irmão, Oyhama Filho e minha irmã, Ângela Christina, estão juntos na graça e contemplando a face do Onipotente. E a minha esposa Martha de Jesus, pelo apoio, amor e dedicação empreendido na formação de nossa família.

## AGRADECIMENTOS

A concretização do trabalho registrado nesta dissertação vêm ratificar a certeza de que o homem é de fato um ser social e que sempre precisará do outro ser humano, devendo manter ativa as suas relações com os semelhantes e as diversas instituições que o cercam, tanto no plano individual como também no plano profissional, e que sem a ajuda dessas pessoas e instituições, certamente não teria sido possível engendrar esta obra. Por isso, gostaria de agradecer as pessoas e instituições que ajudaram e fizeram deste trabalho uma realidade, concretizado nas páginas seguintes.

À Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, pela sua política de capacitação de servidores docente e administrativos, em particular à equipe da Sub-Reitoria de Pós-Graduação, SR-2, que atendeu minha solicitação aprovando o pedido de afastamento parcial das atividades acadêmicas como docente desta instituição. Através do Programa de Capacitação Docente, PROCAD, permitiu-me dedicar mais atenção ao projeto de pesquisa e ao acompanhamento do curso de Mestrado. Obrigado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, e a Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, FAPERJ, pelo apoio prestado sob forma de recursos materiais e financeiros, bastante relevantes com reflexos diretos na infra-estrutura de montagem deste trabalho. Grato.

Em especial a minha orientadora a prof<sup>a</sup> Thereza Christina de Almeida Rosso e ao meu co-orientador prof Gandhi Giordano pela orientação, cobrança, confiança e oportunidades oferecidas, fundamentais para a realização deste trabalho, além de estímulos e principalmente, pela amizade incrementada. Muito obrigado.

Aos professores do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia da UERJ, em particular aos que atuaram ministrando aulas no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, PEAMB, pelo empenho, apoio e pela dedicação ao longo do curso que tornaram possível a ascensão de mais este degrau na formação profissional e na carreira de magistério. Muito obrigado.

Aos companheiros professores do Departamento de Química Orgânica, do Instituto de Química, da UERJ, bem como a direção do Instituto, pelo entusiasmado apoio e acolhida imediata quando souberam da minha decisão de fazer o curso de Mestrado, e que proporcionaram-me condições temporárias, tais como substituir-me enquanto afastado

parcialmente, em turma, e outras contribuições dadas durante a realização do curso. Muito obrigado.

Aos companheiros professores do Centro Federal de Educação Tecnológica de Nilópolis, CEFET Química, Unidade Rio de Janeiro e a Coordenação de Química, bem como a direção geral do CEFET/Química, pelo entusiasmado apoio e acolhida imediata quando souberam da minha decisão de fazer o curso. Colaboraram para que eu pudesse reduzir parcialmente a atividade acadêmica com classe, e por outras contribuições dada durante todo o período. Muito Obrigado.

À Empresa Tecnologia em Meio Ambiente Ltda, TECMA, especialmente ao seu Diretor Técnico o Prof. Gandhi Giordano e ao Engenheiro Responsável pelo Laboratório o Eng Olegário Fernandes Oliveira Neto, por disponibilizar todos os frascos de amostragem para os vários parâmetros a serem analisados, caixas de isopor grande para acondicionamento dos frascos com amostras, além do apoio de sua equipe técnica, mormente no que se refere ao levantamento das condições operacionais de coleta das amostras, construção do quadro metálico usado na demarcação da área de coleta das amostras, bem como na avaliação dos custos financeiros das análises a serem realizadas. Muito obrigado.

À Empresa Sabores e Aromas Alimentos Ltda, por disponibilizar os frascos plásticos de 20 litros de capacidade (6 bombonas) e os frascos plásticos de 5 litros de capacidade (8 frascos), novos e devidamente esterelizados, nos quais transportava a água tratada e deionizada usada nas amostragens no túnel. Muito obrigado.

À Empresa De Millus S.A. pela água tratada e deionizada, retirada na casa de força, dentro da planta industrial, recolhida das 4 torres industriais de resinas de troca iônica, já que a cada amostragem eram necessários 40 litros de água deionizada, usadas para a coleta no Túnel Rebouças. Agradeço aos técnicos, engenheiros e ao consultor técnico da empresa o bioquímico Cidior Veiga dos Santos. Obrigado.

À Empresa Tratamento de Resíduos Industriais de Belford Roxo S.A., TRIBEL, e a toda equipe técnica dos laboratórios, especialmente à Luiz Henrique de Souza Lucio, Chefe de Laboratório e de Sistema de Gestão, por disponibilizar recursos materiais, reagentes, técnicos especializados e aparelhos analíticos para análise dos parâmetros de metais feitos por espectrometria de absorção atômica. Muito obrigado.

Ao Centro de Tecnologia Ambiental da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro CTA/FIRJAN, especialmente ao Engenheiro Químico e responsável pelo laboratório Robson Vieira de Figueiredo, por disponibilizar recursos materiais, reagentes, técnicos

especializados e aparelhos analíticos para determinação do parâmetro BTEX, feito por cromatografia gasosa com detecção por espectrômetro de massas, CG-MS e alguns dos parâmetros de metais feito por espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado, ICP-AES. Obrigado.

Ao Laboratório de Engenharia Sanitária LES/FEUERJ, a toda equipe técnica, particularmente ao Engenheiro Químico responsável Ubiratan Amorim da Silva pelas análises dos parâmetros físico-químicos ali realizadas. Obrigado.

A Coordenadoria de Vias Especiais, CVE da Secretaria Municipal de Transportes do RJ, SMTR, através da Primeira Divisão de Vias Especiais, principalmente aos senhores Ruy Moreira Filho e Ricardo Motta, diretores da 1ª DVE abrangendo o Eixo rodoviário São Cristóvão – Lagoa Rodrigo de Freitas que inclui o Túnel Rebouças, por disponibilizar o suporte logístico, cooperação técnica e de infra-estrutura, durante todo o período da coleta de amostras e levantamento de dados de campo no Túnel Rebouças. Muito obrigado.

A Martha de Jesus Lopes, minha esposa e companheira, alma gêmea, de 25 anos de convivência, pelo apoio espontâneo, pelas constantes e incansáveis orações, por entender minhas seguidas ausências do nosso convívio comum e de família, principalmente em reuniões comemorativas, pelas madrugadas acordado, isolado no escritório de casa ou fora coletando amostra no túnel, já que este só fecha ao tráfego de madrugada, correspondendo assim as exigências formais que um trabalho de pesquisa como esse impõe. Obrigado

Aos meus netos pelos sorrisos, abraços e beijos que me “aliviavam” nos momentos de tensão e desânimo. Obrigado.

Ao sobrinho Oyhama, pelo apoio irrestrito em todos os momentos, meu especial companheiro da madrugada, no túnel. Obrigado

A todos os meus familiares que ao longo dessa investida incentivaram-me e sempre contribuíram torcendo muito para o êxito e o sucesso desse trabalho. Obrigado.

Aos meus pais, Oyhama e Maria, irmão, Oyhama Filho e irmã Ângela Christina, (*in memoriam*), pelos ensinamentos durante a convivência, as lições de vida transmitidas, meus intercessores junto ao Grande Arquiteto do Universo, eternos incentivadores e inspiradores das realizações concretizadas.

E finalmente a Deus, pelo dom da vida, o privilégio de conviver com tantos amigos, a satisfação e a alegria de fazer o que gosto, contribuindo assim para uma sociedade melhor.

## RESUMO

Avaliação da qualidade de águas de drenagem urbana correlacionada aos poluentes originados pelo tráfego de veículos automotores: Estudo de caso do Túnel Rebouças na Bacia Contribuinte da Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ.

Com o crescente aumento na quantidade de veículos automotores e o conseqüente incremento no volume do tráfego de veículos nas vias urbanas, é natural que haja uma preocupação com a poluição ambiental e seus efeitos na saúde humana. Os poluentes originados da queima incompleta dos combustíveis de veículos automotores podem afetar tanto a atmosfera como os ambientes aquáticos. Neste último caso, a poluição hídrica, ou seja, a poluição que chega aos corpos d'água receptores, através dos canais de drenagem pluvial urbana, decorrente da imensa variedade de resíduos e sedimentos depositados nas vias oriundos do tráfego de veículos.

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma avaliação da qualidade das águas pluviais através de observações dos resultados das análises laboratoriais de um conjunto de parâmetros físico-químicos que proporcionaram esta visão sistêmica, que certamente irá permitir observar qual é a contribuição desta fonte de poluentes e o potencial impacto ocasionado nas águas do corpo d'água receptor. Um estudo de caso é apresentado para o caso do Túnel Rebouças localizado na bacia contribuinte da Lagoa Rodrigo de Freitas no município do Rio de Janeiro, RJ.

Palavras-Chave: Qualidade de água, drenagem pluvial, poluição oriunda do tráfego de veículos, escoamento superficial, Lagoa Rodrigo de Freitas.

## ABSTRACT

Evaluation of the water quality of urban drainage related to the pollutants originating from the automotive vehicles traffic: Study of the case of Rebouças tunnel, in the drainage basin of Rodrigo de Freitas Lagoon, RJ.

With the continued increase in vehicular traffic on urban roadways, there is understandable concern about environment as pollution and its effect on human health. The pollutants originating from the incomplete combustion in automotive vehicles can affect both the atmosphere and the aquatic environment. In the latter case, pollutants arrive in the body of water receivers, via the surface water drainage channels of the urban roadways, together with an immense variety of other residues and sediments deposited on the roadways. This work has the objective of evaluating the quality of the surface water by laboratory analysis in accordance with a set of physico-chemical, parameters of determining and the potential impact on the water in the water body receiver. A case study is made in the Rebouças tunnel, localized in the hydrographic basin of Rodrigo de Freitas lagoon, in the municipal district of Rio de Janeiro.

**Key-words:** Quality of the water, drainage pluvial, pollution derived from vehicles traffic, superficial flowing, Rodrigo de Freitas lagoon.

## SUMÁRIO

Resumo .....	iv
Abstract.....	v
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Definição do problema .....	1
1.2. Objetivos do trabalho .....	3
1.3. Organização do trabalho.....	3
<b>2. Emissão de poluentes originados por veículos automotores .....</b>	<b>5</b>
2.1. Urbanização e o transporte urbano .....	5
2.2. Emissões veiculares e poluição do ar .....	6
2.3. Combustíveis automotores .....	10
2.4. Como os poluentes provocam doenças.....	12
2.5. Medidas de prevenção e controle .....	21
2.5.1. Catalisadores automotivos.....	21
2.5.2. Programas de Monitoramento .....	22
<b>3. Parâmetros ambientais e poluição difusa urbana .....</b>	<b>23</b>
3.1. Ciclo Hidrológico .....	23
3.2. Escoamento das águas de chuva.....	25
3.3. Hidrograma.....	27
3.4. Bacia hidrográfica.....	29
3.5. Tempo de concentração .....	30
3.6 Impactos ambientais .....	31
3.7 Qualidade de água .....	33
3.8 Poluição das águas.....	34
3.8.1.Principais fontes geradores de carga difusa urbana e seus respectivos poluentes.....	35
3.8.2. Deposição atmosférica.....	36
3.8.3. Deposição de poluentes nas ruas .....	37
3.8.4 Desgaste do pavimento.....	37
3.8.5. Veículos.....	38
3.8.6. Lixo.....	38
3.8.7. Tóxicos .....	39

3.8.8. Erosão .....	40
3.9. Impactos sobre a qualidade da água do corpo receptor .....	41
3.9.1. Alterações estéticas.....	42
3.9.2. Depósitos de sedimentos .....	42
3.9.3. Depleção da concentração de oxigênio dissolvido .....	43
3.9.4. Contaminação por organismos patogênicos .....	43
3.9.5. Eutrofização.....	43
3.9.6. Danos devido à presença de tóxicos .....	44
3.10 Quantificação das cargas poluidoras .....	44
3.11 Avaliação das cargas poluidoras geradas pelo escoamento superficial urbano.....	46
3.14 Modelos de simulação do processo de poluição por cargas difusas em áreas urbanas .	52
<b>4. Descrição da área de estudo.....</b>	<b>58</b>
4.1. Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro .....	58
4.2. A Lagoa Rodrigo de Freitas.....	58
4.2.1. Caracterização e localização.....	58
4.2.2. Batimetria .....	60
4.2.3. Rios contribuintes à bacia hidrográfica .....	60
4.2.4. Dados populacionais.....	63
4.2.5. Dados ambientais .....	64
4.2.6. Principais problemas.....	64
4.2.7. Sistema de esgotamento sanitário da Lagoa Rodrigo de Freitas .....	67
4.3. O Túnel Rebouças .....	71
<b>5. Metodologia.....</b>	<b>76</b>
5.1. Escolha do local .....	76
5.2. Identificação dos pontos de coleta.....	77
5.3. Metodologia de coleta das amostras .....	80
5.4. Datas das coletas de amostras.....	82
5.5. Considerações quanto as condições ambientais nos períodos de amostragem.....	83
5.6. Parâmetros analisados .....	83
5.7. Considerações quanto aos procedimentos laboratoriais .....	84
<b>6. Análise dos resultados .....</b>	<b>87</b>
6.1. Considerações gerais .....	87
6.2 Potencial hidrogeniônico .....	94

6.3. Alcalinidade.....	95
6.4. Condutividade.....	96
6.5. Demanda química de oxigênio .....	97
6.6. Sólidos totais .....	98
6.7. Sólidos em suspensão totais .....	99
6.8. Óleos e graxas.....	100
6.9. Nitrogênio amoniacal .....	101
6.10. Fósforo total.....	102
6.11. Compostos orgânicos voláteis .....	102
6.12. Metais .....	103
7. Conclusões e recomendações .....	107
8. Referências bibliográficas .....	109
9. ANEXOS	

## **CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA**

Entende-se por poluição das águas a adição de substâncias ou de formas de energia que, direta ou indiretamente, alterem a natureza do corpo d'água de uma maneira tal que prejudique os legítimos usos que deles são feitos (VON SPERLING, 1996).

No caso de ambientes aquáticos, a poluição pode ser pontual ou difusa. No caso da poluição pontual, os poluentes atingem o corpo d'água de forma concentrada no espaço. Este é o caso, por exemplo, do lançamento em um corpo d'água de efluentes domésticos ou industriais através de uma tubulação em um determinado corpo d'água receptor. No caso da poluição difusa, os poluentes são lançados de forma esparsa ao longo da extensão de um rio ou sobre a área de contribuição de uma determinada bacia hidrográfica. Este é o caso típico da poluição veiculada pela drenagem pluvial natural, a qual é descarregada no corpo d'água de uma forma distribuída e não concentrada em um único ponto.

A poluição difusa tem neste trabalho o seu maior enfoque. Podem ocorrer em áreas urbanas ou rurais. Em áreas rurais é decorrente do uso descontrolado e excessivo de agroquímicos como pesticidas, fertilizantes, entre outras substâncias empregadas nas agriculturas, lavouras e plantações. A presença destas substâncias tóxicas no escoamento superficial é nociva ao ecossistema aquático e prejudica os usos do corpo d'água. Em áreas urbanas, esta pode ter origem no escoamento superficial sobre as áreas impermeáveis, áreas em fase de construção, depósito de lixo ou de resíduos industriais, podem ser decorrentes da abrasão e o desgaste das ruas pelos veículos, pelo lixo acumulado nas ruas e calçadas, resíduos orgânicos de pássaros e animais domésticos, resíduos de combustível, óleos e graxas deixados por veículos, poluente do ar, entre outros.

O escoamento superficial da água nas áreas impermeáveis carrega o material solto ou solúvel que encontra, até os corpos d'água, levando, portanto, cargas poluidoras bastante significativas. Além disso, a impermeabilização do solo pelo asfaltamento e do entorno pelo calçamento leva ao aumento do número de vezes em que a bacia produz significativo escoamento superficial e também ao aumento da velocidade de escoamento, gerando maior capacidade de arraste e, portanto, maiores cargas poluidoras. As redes de drenagens urbanas são responsáveis pela veiculação dessas cargas e sabe-se, hoje, que se constituem em importantes fontes de degradação de rios, lagos, lagoas e estuários, (TUCCI *et al*, 1995).

Os principais poluentes carregados pelo escoamento superficial são sedimentos, matéria orgânica, material biológico, metais como zinco, manganês, ferro e chumbo, hidrocarbonetos (provenientes do petróleo), substâncias tóxicas, como os pesticidas e, além disso, os poluentes do ar, que se depositam sobre as superfícies. Também podem ser observados poluentes originados de ligações clandestinas de esgotos, efluentes de fossas sépticas, vazamentos de tanques de combustível enterrados, restos de óleo lubrificantes, restos de óleos comestíveis, detritos de animais, tintas, solventes e outros produtos despejados em sarjetas e bueiros também contribuem para o aumento das cargas poluidoras pelas redes de drenagem urbanas.

Observa-se pela literatura especializada que a característica mais marcante da poluição de origem difusa é a grande variabilidade da concentração de poluentes presentes quando do lançamento da drenagem urbana nos corpos d'água. As concentrações variam em ordens de magnitude entre bacias hidrográficas, entre diferentes eventos de precipitação e, também, ao longo de um mesmo evento. Assim, concentrações médias de poluente têm pouco significado como indicação da magnitude do fenômeno poluição. É de grande importância o conhecimento da parcela de contribuição das águas de drenagem urbana no nível de contaminantes e o impacto destes sobre as águas no corpo receptor, sua atuação na vida aquática (biota) e na saúde da população que de diversos modos se utiliza dessas águas (esporte, lazer, pesca, etc). É importante ainda verificar e analisar os parâmetros químicos, físicos e biológicos estabelecidos como aceitáveis para o tipo uso do corpo d'água receptor.

Eventos de precipitação podem elevar as concentrações de contaminantes e metais tóxicos no corpo receptor chegando até níveis agudos, ressaltando que toda a área urbanizada, incluindo a vegetação do entorno, é carregada e os resíduos depositados ou solúveis somam-se à carga impactante.

Segundo NOVOTNY (1991), as fontes de poluição de origem difusa apresentam algumas características específicas conforme descrito a seguir:

- o lançamento da carga poluidora é intermitente e está relacionado à precipitação;
- os poluentes são transportados a partir de extensas áreas;
- as cargas poluidoras não podem ser monitoradas a partir do ponto de origem, já que não é possível identificar exatamente sua origem;
- o controle da poluição de origem difusa, obrigatoriamente, deve incluir, apenas o controle do efluente quando do lançamento;

- é difícil estabelecer padrões de qualidade para o lançamento do efluente, uma vez que a carga poluidora lançada varia de acordo com a intensidade e a duração do evento meteorológico (chuva), a extensão da área de produção do efluente naquele específico evento e com outros fatores, que tornam a correlação vazão x carga poluidora praticamente impossível de ser estabelecida.

## **1.2. OBJETIVOS**

O presente estudo tem como objetivo principal avaliar através de alguns parâmetros físico-químicos de qualidade de água, os efluentes de precipitações pluviométricas e de águas de lavagem de pista coletados, com a finalidade de quantificar os poluentes oriundos do tráfego de veículos, no eixo viário num determinado intervalo de tempo. Fazer correlações entre os teores de poluentes encontrados no eixo viário e o tráfego médio diário de veículos circulantes em certo intervalo de tempo. Verificar a contribuição das emissões veiculares na poluição difusa em área urbana, averiguando o potencial impacto de águas pluviais impuras advindas do escoamento superficial urbano sobre as águas do corpo d'água receptor.

## **1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

Neste trabalho, são apresentados os resultados obtidos nas análises físico-químicas dos parâmetros que caracterizam a qualidade das águas de lavagem de piso feitas no Túnel Rebouças e dos efluentes pluviais colhidos nos bueiros próximos ao túnel. O monitoramento envolveu 18 (dezoito) parâmetros por amostra colhida, a saber: condutividade, pH, alcalinidade total, óleos e graxas, sólidos totais, sólidos em suspensão totais, demanda química de oxigênio, compostos orgânicos voláteis (BTEX), nutrientes (nitrogênio amoniacal e fósforo total), metais pesados, cromo, cádmio, cobre, chumbo, níquel, zinco, manganês e ferro.

No capítulo 1, procura-se mostrar uma questão pouco abordada nas fontes bibliográficas nacionais que é a poluição de origem difusa em áreas urbanas. Ainda neste capítulo, evidencia-se o problema trazendo-o para o meio da academia afim de que seja mais discutido e tratado com a devida importância, com objetivo de encontrar alternativas de controlá-lo, assegurando melhor qualidade das águas de corpos d'água receptores e do meio ambiente.

No capítulo 2, são feitas considerações sobre o uso do solo em áreas urbanas, a questão do transporte urbano, as emissões veiculares nas grandes cidades, os combustíveis fósseis e poluentes gerados na combustão, sobre ação dos poluentes no organismo humano, os catalisadores automotivos e programas de qualidade do ar.

No capítulo 3, são abordados tópicos relativos a água, parâmetros hidrológicos importantes ao estudo: escoamento superficial, hidrogramas, bacias hidrográficas, qualidade das águas e principais fontes poluidoras das águas.

No capítulo 4, é feita uma caracterização da área estudada, da Lagoa Rodrigo de Freitas e do Túnel Rebouças.

No capítulo 5, apresenta-se a metodologia utilizada para o monitoramento, esclarecimento quanto ao local escolhido, as demarcações dos pontos de amostragem, as formas de coleta das amostras, as características do quadro metálico usado na coleta de águas de lavagens da pista, coletores nos bueiros para captação de águas pluviais, descrição geral dos materiais utilizados e procedimentos executados, os esquemas do eixo viário e do Túnel Rebouças, dados de controle do tráfego de veículos, dados de monitoramento de condições climáticas, materiais e métodos utilizados nas análises.

No capítulo 6, são apresentados, analisados e discutidos os resultados obtidos nas campanhas de monitoramento.

Finalmente no capítulo 7, são feitas algumas considerações e recomendações para a continuidade de pesquisas nesta área de estudo.

## **CAPÍTULO 2. EMISSÃO DE POLUENTES ORIGINADOS POR VEÍCULOS AUTOMOTORES**

### **2.1. A URBANIZAÇÃO E O TRANSPORTE URBANO**

O desenvolvimento e as formas específicas de uso e ocupação do solo têm relação direta entre a estrutura urbana, as condições de transporte e circulação de qualquer cidade ou centro urbano. Esta relação causa impactos que podem ser definidos como o conjunto dos efeitos decorridos em um desses sistemas por ações produzidas uns sobre os outros e vice-versa (FARRET, 1984). Tais impactos afetam a acessibilidade e repercutem de maneira direta na vida política, econômica e social da comunidade local em uma estreita relação de difícil delimitação. Sob o ponto de vista ambiental, muito desses impactos são negativos causando efeitos deletérios ao meio ambiente, à saúde da população, e na maioria das vezes, são irreversíveis e de difícil correção.

No Brasil, de forma geral, observa-se que o crescimento contínuo das cidades freqüentemente não é acompanhado de investimentos em infra-estrutura física e operacional ou em sistemas de transporte público que possam ser considerados em patamares de qualidade requeridos para o bom atendimento de toda a população que necessita se deslocar pela cidade. Esta falta de transporte público de qualidade estimula a expansão do uso de transporte individual provocando congestionamentos, conflitos entre a circulação de pedestres e veículos, condições precárias de segurança da frota, riscos de acidentes, excesso de emissão de ruídos e gases, aumento dos tempos de viagem e do consumo de combustível, etc, (ANTP, 2003) Além disso, uma matriz de transporte urbano desequilibrada afeta também a população local, principalmente com o aumento da incidência de doenças respiratórias, bem como afeta os aspectos urbanísticos com a deterioração do patrimônio arquitetônico da cidade.

Outro ponto importante a ser observado no uso do automóvel na circulação urbana é a dispersão e fragmentação do uso do solo. O tráfego de veículos, embora comprometido pelos congestionamentos nos grandes centros urbanos, exerce forte atração sobre a população transformando os espaços de circulação de pedestres e áreas verdes, de uso comunitário, em estacionamento potenciais. A falta de estacionamentos estimula a demolição de imóveis residenciais em áreas já comerciais para a transformação dos lotes em estacionamentos, aumentando os vazios urbanos e eliminando da paisagem referências arquitetônicas importantes. Tais fatos podem provocar outros impactos, não tão visíveis em curto prazo,

através da implantação de novo sistema viário justaposto à estrutura urbana pré-existent (implantação de viadutos, túneis, vias expressas) e até impactos de natureza operacional, como a criação de novos serviços de transportes, remanejamentos de linhas, terminais e mesmo de implantação de nova estrutura tarifária.

## 2.2. EMISSÕES VEICULARES E POLUIÇÃO DO AR

Na atualidade, principalmente após a Revolução Industrial, observa-se que as atividades desenvolvidas em indústrias, termoelétricas, construção civil e, pelo tráfego de veículos, geram emissão de partículas e/ou gases que podem alterar significativamente a qualidade do ar de qualquer localidade ou região.

Além de causar danos à saúde humana, à fauna, à flora e aos materiais em geral, a poluição do ar vem sendo considerada pela maioria dos países como o principal agente de degradação ambiental do Planeta. Características climáticas ocorridas nas últimas décadas evidenciam que as atividades humanas contribuem efetivamente para o aumento das emissões de poluentes para a atmosfera, em níveis capazes de favorecer uma mudança climática em escala mundial, com possíveis consequências catastróficas para toda a humanidade.

Segundo MARCONDES (1994), entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora; prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e as atividades normais da comunidade.

Numerosos esquemas de classificação podem ser delimitados para a variedade de poluentes que podem estar presentes na atmosfera. Quanto à *origem* os poluentes podem ser classificados em:

- *primários*: aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão;
- *secundários*: aqueles formados na atmosfera como produtos de alguma reação. Um poluente que está presente na atmosfera reage com algum outro material, que pode ser um componente natural da atmosfera ou outro poluente. A reação pode ser fotoquímica ou não.

Quanto ao *estado* podem ser classificados como:

- *gasosos*: comportam-se como o ar, uma vez difundidos, não tendem mais a se depositar;
- *material particulado*: são considerados poluentes particulados, as névoas de compostos inorgânicos e orgânicos sólidos, com diâmetro aerodinâmico equivalente inferiores a 100 $\mu$ m, e que permanecem em suspensão, por um período mais longo quanto menor forem às partículas.

No tocante às *fontes* de poluentes do ar, estas são classificadas em três grandes classes:

- *estacionárias* – representadas por dois grandes grupos: um abrangendo atividades pouco representativas nas áreas urbanas, como queimadas, lavanderias e queima de combustíveis nas padarias, hotéis, hospitais e outras, tidas usualmente como fontes de poluição não industriais; outro formado por atividades individualmente significativas, em vista à variedade ou intensidade de poluentes emitidos, como a poluição dos processos industriais;
- *móveis* – compostas pelos meios de transporte aéreo, marítimo e terrestre, em especial os veículos automotores que, pelo número e concentração, passam nas áreas urbanas a constituir fontes de destaque;
- *naturais* – são os processos naturais de emissão caracterizados pela atividade de vulcões, do mar, da poeira cósmica, do arraste eólico, etc.

A determinação da qualidade do ar está restrita a um grupo de poluentes que podem oferecer maior perigo, quer pela sua maior frequência de ocorrência, quer pelos efeitos adversos que causam ao meio ambiente. Dentre este grupo de poluente, destacam-se: dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), partículas total em suspensão (PTS), partículas inaláveis (PI), monóxido de carbono (CO), oxidantes fotoquímicos expressos como ozônio (O<sub>3</sub>), hidrocarbonetos totais (HC) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>). A **Tabela 2.1** apresenta uma relação das principais substâncias consideradas poluentes do ar e suas respectivas fontes.

A concentração dessas substâncias poluentes no ar varia em função da sua produção, remoção e dos mecanismos de dispersão na atmosfera. O fenômeno da dispersão varia principalmente em função da topografia local e das condições meteorológicas reinantes. Quando a própria atmosfera dispersa o poluente, misturando-o eficientemente num grande

volume de ar, este fato contribui para a diminuição da poluição, colocando as substâncias poluentes em níveis aceitáveis ambientalmente.

Observa-se assim que a interação entre as fontes de poluição e a atmosfera é que determinam os padrões de qualidade do ar. Dessa forma, mesmo quando as emissões de poluentes não sofrem variação, as condições meteorológicas é que determina uma maior ou menor diluição destes poluentes. Um exemplo disso é o fato da qualidade do ar ser pior durante o inverno, quando as condições meteorológicas são mais desfavoráveis à dispersão de poluentes.

**Tabela 2.1. Principais substâncias consideradas como poluentes do ar e suas respectivas fontes de emissão.**

<b>Fontes</b>		<b>Poluentes</b>
<b>Fontes estacionárias</b>	Combustão	Material particulado, dióxido de enxofre e trióxido de enxofre, monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio
	Processo industrial	Material particulado (fumos, poeiras, névoas), gases (SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , HCl, hidrocarbonetos, mercaptanas, HF, H <sub>2</sub> S, NO <sub>x</sub> )
	Termelétrica	Material particulado, gases (SO <sub>x</sub> , hidrocarbonetos, monóxido de carbono, NO <sub>x</sub> )
	Queima de resíduo sólido	Material particulado, gases (SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , HCl, NO <sub>x</sub> )
	Outros	Hidrocarbonetos, material particulado
<b>Fontes móveis</b>	Veículos gasolina/diesel álcool, aviões, motocicletas, barcos, locomotivas, etc.	Material particulado, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, aldeídos, dióxido de enxofre, ácido orgânicos
<b>Fontes naturais</b>	Reações químicas na atmosfera. Por exemplo: hidrocarbonetos + óxidos de nitrogênio (luz solar)	Material particulado (poeiras), gases (SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CO, NO, NO <sub>2</sub> , hidrocarbonetos), poluentes secundários (O <sub>3</sub> , aldeídos, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos, aerossol fotoquímicos, etc)

No Brasil, os padrões nacionais de qualidade do ar fixados pela resolução de número 03, de 28 de junho de 1990, da Comissão Nacional de Meio Ambiente, CONAMA, conforme apresentado pela **Tabela 2.2**.

Ressalta-se ainda que esta resolução contempla níveis limites de concentrações para caracterizar ocorrência de situações críticas de poluição do ar, conforme descrito na **Tabela 2.3**.

**Tabela 2.2. Padrões nacionais de qualidade do ar.**

<b>Poluente</b>	<b>Período considerado</b>	<b>Padrão primário</b>
Partículas totais em suspensão	24 horas <sup>(1)</sup>	240 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	Anual – MGA <sup>(2)</sup>	80 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Dióxido de enxofre	24 horas <sup>(1)</sup>	365 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	Anual – MAA	80 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Monóxido de carbono	1 hora <sup>(1)</sup>	40 000 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	8 horas corridas <sup>(1)</sup>	10 000 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ozônio	1 hora	160 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Fumaça	24 horas <sup>(1)</sup>	150 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	Anual - MAA <sup>(3)</sup>	60 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Partículas inaláveis	24 horas <sup>(1)</sup>	150 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	Anual – MAA <sup>(3)</sup>	50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Dióxido de nitrogênio	1 hora <sup>(1)</sup>	320 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	Anual - MAA <sup>(3)</sup>	100 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

(1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano; (2) Média geométrica anual; (3) Média aritmética anual.

**Tabela 2.3. Critérios para caracterização de episódios agudos de poluição do ar.**

Parâmetros	Períodos	Concentrações limites		
		Atenção	Alerta	Emergência
Dióxido de enxofre ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 horas	800	1.600	2.100
Partículas totais em suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 horas	375	625	875
SO <sub>2</sub> x PTS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 horas	65.000	261.000	393.000
Monóxido de carbono (ppm)	8 horas	15	30	40
Ozônio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1 hora	400	800	1.000
Partículas inaláveis ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 horas	250	420	500
Fumaça ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 horas	250	420	500
Dióxido de nitrogênio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1 hora	1.130	2.260	3.000

No enfoque deste trabalho, observa-se que a expansão urbana e a intensificação do tráfego rodoviário nas áreas metropolitanas aumentam os níveis de poluição do ar tanto no interior das cidades, como nas suas vias de acessos. Assim, os veículos automotores são os principais causadores dessa poluição em todo mundo através da queima de combustíveis fósseis utilizados como principal fonte de energia.

Os efeitos das emissões veiculares provenientes da combustão incompleta dos combustíveis fósseis podem ser observados tanto local, como regional ou mesmo globalmente (MARCONDES, 1994). Os problemas locais referem-se à saúde da população que é exposta aos gases poluentes, com custos diretos e indiretos para a sociedade. Nestes casos, as crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias são os mais afetados. O efeito regional acontece decorrentes de poluentes primários, podendo se deslocar a grandes distâncias pelos ventos. Em nível global, o aumento na atmosfera da concentração de determinados gases provenientes do processo de combustão, tem provocado aquecimento global, comprometendo a vida nos cinco continentes, afetando ainda as populações em todo o Planeta. Destaca-se ainda na poluição por emissões veiculares a formação de chuvas ácidas, bem como a ocorrência de inversão térmica e o efeito estufa.

A inversão térmica ocorre nas grandes cidades, durante o período do inverno, quando há o rápido resfriamento do solo durante a noite, ou quando ocorre o rápido aquecimento das camadas atmosféricas mais altas. Dessa forma, o ar quente fica por cima do ar frio, impedindo que as camadas mais próximas das superfícies possam circular. Com isso, os poluentes

presentes nas camadas mais baixas não têm condições de serem dissipados e acumulam-se em concentrações bastante tóxica. Já nos dias quentes, uma vez que maiores temperaturas reduzem a solubilidade, dos gases dissolvidos na água dos rios e lagos, gases como o gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), derivado do enxofre orgânico ou residual, são liberados das águas poluídas para atmosfera, causando intenso mau cheiro nas áreas próximas. O escurecimento das construções e edifícios nas grandes cidades, bem como as cascas das árvores nos parques urbanos, são reflexos do acúmulo de material particulado pesado (poeira) e mais leve (fumaça), os quais são produzidos principalmente pela queima de combustíveis fósseis, como carvão e derivados do petróleo (MANUAL GLOBAL ECOLOGIA, 1996).

### 2.3. COMBUSTÍVEIS AUTOMOTORES

Os primeiros automóveis à gasolina apareceram em 1886. A produção mundial de automóveis, pouco mais de 110 anos depois, alcançou a cifra de 54,6 milhões de veículos por ano. No ano de 1999 o mundo já possuía 697,8 milhões de unidades, das quais somente os Estados Unidos da América, EUA, possuíam 209,7 milhões (ANFAVEA, 2000). A média de idade dos veículos nos EUA é de 8,1 anos para carros de passageiros e de 8,4 anos para os caminhões. Um prognóstico para o ano 2010 é de que a quantidade de automóveis no mundo atinja entre 735 e 780 milhões de unidades, (ASSOCIAÇÃO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE PÚBLICO, SP, Folha de São Paulo, 26/05/1996). No Brasil, a frota de veículos é de 18,7 milhões de unidades, das quais 6,96 milhões circulam em São Paulo e cerca de 3,4 milhões no Rio de Janeiro (LORA, 2002).

A título de ilustração, a **Tabela 2.4** apresenta a composição da sua frota de veículos, segundo a divisão de fonte de energia.

**Tabela 2.4. Composição da frota de veículos em 1999, na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro. (FONTE: Departamento Estadual de Trânsito, DETRAN/RJ).**

<b>Número de Veículos</b>					
<b>Ano<sup>(a)</sup></b>	<b>Álcool</b>	<b>Gasolina</b>	<b>Diesel</b>	<b>Outros<sup>(b)</sup></b>	<b>Total</b>
99	19	64005	2570	167	66761

98	31	132096	9189	865	142181
97	49	154929	9824	650	165452
96	273	142681	8314	878	152146
95	1848	137727	11630	2215	153420
94	6644	93272	5391	910	106217
93	14467	74535	4055	399	93456
92	10989	51480	2784	622	65875
84 –91	302021	215084	25427	1449	543981
Até 83	74198	697157	39258	207	810820
Subtotal	410539	1762966	118442	8362	2300309

Notas: a) ano–corresponde ao ano-modelo; b) combustíveis classificados como outros: gasogênio, gás metano, ELT FT INT, ELT FT EX, gasolina/GNV, álcool/GNV e diesel/GNV.

A queima de gasolina nos motores dos automóveis produz, em maior quantidade, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Entretanto, como esta queima não é completa, ou seja, como a gasolina não reage inteiramente com o oxigênio presente no ar, há produção de monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ), provenientes da queima das impurezas presentes na gasolina com o oxigênio do ar. Estes compostos são eliminados pelo escapamento do automóvel, poluindo assim a atmosfera. Com exceção do  $\text{CO}_2$  e a  $\text{H}_2\text{O}$ , todos os demais são altamente nocivos à saúde humana.

No caso de veículos com motores movidos a óleo diesel, há uma menor emissão de monóxido de carbono. Entretanto, há uma grande produção de óxidos de nitrogênio e óxidos de enxofre, além da fuligem, que é a fumaça preta característica lançada pelos ônibus, caminhões e caminhonetes. Esta fumaça é resultado da queima parcial do óleo, liberando partículas de carbono finamente divididas na atmosfera.

Já nos carros a álcool fabricados no Brasil, a quantidade de  $\text{NO}_x$  e de  $\text{SO}_x$  produzidos pela queima deste combustível é desprezível, entretanto observa-se a eliminação de aldeídos. Os aldeídos além de serem poluentes também constituem uma ameaça à saúde da população. Vale ressaltar, entretanto que de qualquer maneira, o carro movido a álcool etílico é bem menos poluente que o movido à gasolina. Tal característica induz que no Brasil atualmente seja adicionado cerca de 25% de álcool etílico na gasolina, a fim de evitar altos índices de poluição.

## 2.4. COMO OS POLUENTES PROVOCAM DOENÇAS

Dentre os problemas ambientais existentes, a poluição do ar é um dos que mais causa incomodo a população. Na **Tabela 2.5**, observar-se o percentual de reclamações da população do Rio de Janeiro relacionado à poluição, reflete bem tal situação, (FEEMA, 2004).

As emissões ocasionadas por veículos carregam diversas substâncias tóxicas, em contato com o sistema respiratório, podem produzir vários efeitos negativos sobre a saúde do indivíduo. A **Tabela 2.6**. apresenta um resumo das principais emissões e os efeitos à saúde humana. Detalhes dos efeitos dessas emissões são apresentados a seguir, segundo BÖHM, 1998.

**Tabela 2.5. Percentuais de reclamação da população da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. (FONTE: FEEMA, 2004)**

<b>Registro de Reclamações ano de 2001</b>	
Tipo de poluição	Porcentagem ( % )
Poluição do ar	45
Poluição da água	19
Poluição sonora	15
Outras poluições (ex: resíduos sólido, visual)	21

**Tabela 2.6. Poluentes monitorados, origem das emissões e efeitos à saúde**

<b>Poluentes</b>	<b>Fontes de Emissão</b>	<b>Efeitos à Saúde</b>
Partículas em suspensão (poeira)	Combustão incompleta originada da indústria, motores à combustão, queimadas e poeiras diversas.	Interfere no sistema respiratório, pode afetar os pulmões e todo o organismo.
Dióxido de Enxofre, SO <sub>2</sub>	Queima de combustíveis fósseis que contenham enxofre, como óleo combustível, carvão mineral e óleo diesel.	Ação irritante nas vias respiratórias, o que provoca tosse e até falta de ar. Agravando os sintomas da asma e da bronquite crônica. Afeta, ainda, outros órgãos sensoriais.
Óxidos de Nitrogênio, NO <sub>2</sub> e NO	Queima de combustíveis em altas temperaturas em veículos, aviões fornos e incineradores.	Agem sobre o sistema respiratório, podendo causar irritações e, em altas concentrações, problemas respiratórios e edema pulmonar.
Monóxido de Carbono, CO	Combustão incompleta de materiais que contenham carbono, como derivados de petróleo e carvão.	Provoca dificuldades respiratórias e asfixia. É perigoso para aqueles que têm problemas cardíacos e pulmonares.
Ozônio, O <sub>3</sub>	Não é um poluente emitido diretamente pelas fontes, mas formado na atmosfera através da reação entre os compostos orgânicos voláteis e óxidos de nitrogênio em presença de luz solar.	Irritação nos olhos e nas vias respiratórias, agravando doenças pré-existentes, como asma e bronquite, reduzindo as funções pulmonares.

### ***Monóxido de Carbono (CO)***

O monóxido de carbono é um gás incolor, inodoro, insípido produzido por queima incompleta de combustíveis que contêm carbono. Sua toxicidade foi uma das primeiras a ser intensamente investigada e, portanto, é muito bem conhecida. Essencialmente, trata-se de uma substância que prejudica a oxigenação dos tecidos e, por isso, é classificada como um asfixiante sistêmico. Apresentam-se a seguir os principais mecanismos de ação.

A substância que carrega o oxigênio aos tecidos é a hemoglobina que está dentro dos glóbulos vermelhos do sangue (também chamados de hemácias ou eritrócitos). Ao nível dos capilares pulmonares, a hemoglobina recebe oxigênio (O<sub>2</sub>) do ar que está nos alvéolos e, depois, continua pelos vasos sanguíneos para levar este elemento vital a todos os tecidos. O oxigênio é entregue a cada setor do organismo conforme sua necessidade e a hemoglobina

recebe o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) lá existente, e que é o produto resultante do metabolismo celular do qual os tecidos precisam se livrar, simplificando:

- nos pulmões a hemoglobina troca  $\text{CO}_2$  por  $\text{O}_2$ ;
- nos tecidos a troca é inversa, nesse caso, a hemoglobina deixa o  $\text{O}_2$  e captura o  $\text{CO}_2$ .

A reação anteriormente apresentada é possível porque a combinação desses gases com a hemoglobina formam compostos instáveis, facilmente liberando  $\text{O}_2$  ou  $\text{CO}_2$ . Esse é um processo essencial à vida. Se parar, as células deixam de receber o oxigênio e entram em anóxia, ocorre asfixia geral.

A periculosidade do CO resulta da estabilidade do complexo CO + hemoglobina (carboxihemoglobina). Desse modo o mecanismo de troca fica prejudicado, a hemoglobina não consegue livrar-se do CO, não pode trocá-lo por  $\text{O}_2$  e, conseqüentemente, oxigenar o organismo. Se 20% a 30% da hemoglobina ficarem saturados com CO, aparecem os sintomas e sinais de hipóxia (falta de oxigenação do organismo), acima de 60% de saturação, ocorrem perda de consciência e morte.

A hipóxia é um fenômeno biológico complexo e suas manifestações clínicas são complicadas. Todos os órgãos necessitam de  $\text{O}_2$ , no entanto alguns em maior quantidade do que outros. Assim, o sistema nervoso central é o maior consumidor desse gás e é muito sensível à sua falta. Portanto, confusão mental, inconsciência e parada das funções cerebrais caracterizam as intoxicações graves pelo CO. Nos envenenamentos crônicos, há perturbações mentais, cardíacas, renais e hepáticas, principalmente.

Entretanto, é importante saber que nas intoxicações agudas ou crônicas, se a vítima não mais respirar CO e, desse modo, a concentração de carboxihemoglobina se mantiver estável, a hemoglobina lentamente se livra desse gás tóxico, o sistema sanguíneo reage produzindo novos glóbulos vermelhos prontos para troca vital de gases e, após vários dias, restabelece-se o ciclo da oxigenação celular. A absoluta maioria dos pacientes tem recuperação completa e sem seqüelas.

### *Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>)*

Dois óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) são importantes na poluição do ar: o monóxido de nitrogênio (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>). Esses poluentes são formados, principalmente, nas câmaras de combustão de motores de veículos onde, além do combustível, há ar que contém grandes quantidades de nitrogênio e oxigênio que, devido à altíssima temperatura existente, combinam e formam os NO<sub>x</sub>. A composição do ar normal é de 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e 1% de argônio. Existem outros elementos, porém em quantidade ínfimas.

O monóxido de nitrogênio (NO), se permanecesse puro, seria um gás praticamente inofensivo e não representaria perigos à saúde. Entretanto, ele se oxida facilmente para NO<sub>2</sub> que é um gás invisível, de odor característico e muito irritante. A pessoa atingida sente imediatamente ardência nos olhos, no nariz e nas mucosas em geral.

Como poderá ser observado há vários outros gases irritantes que causam os mesmos sintomas.

O dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) reage com todas as partes do corpo expostas ao ar, pele e mucosas, e provoca lesões celulares. Os epitélios (revestimentos celulares) que mais sofrem são aqueles das vias respiratórias, por serem mais sensíveis do que a pele ou os epitélios da boca e da faringe, e, portanto, ocorrem degenerações celulares e inflamações celulares e inflamações no sistema respiratório desde o nariz até a profundidade dos alvéolos pulmonares.

Em caso de intoxicação grave, instalam-se edema pulmonar, hemorragias alveolares e insuficiência respiratória, causando morte. Se a exposição for aguda, porém não fatal, ou houver inalação crônica de doses nocivas, teremos doenças respiratórias de vários tipos, dependendo da intensidade e duração. A mais branda será uma inflamação passageira das mucosas das vias respiratórias. Seguindo em ordem crescente de gravidade aparecerão: traqueites e bronquites crônicas, enfisema pulmonar (dilatação anormal dos alvéolos), espessamento da barreira alvéolo-capilar (dificuldades nas trocas gasosas que ocorrem nos pulmões, ou seja, troca de CO<sub>2</sub> por O<sub>2</sub>) e broncopneumonias químicas ou infecciosas.

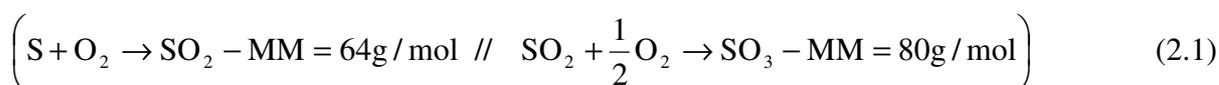
As broncopneumonias químicas são inflamações dos pulmões e vias respiratórias causadas por substâncias químicas. Já as broncopneumonias infecciosas são causadas por microorganismos patogênicos. Durante a respiração, as bactérias que existem no ar normalmente penetram nos pulmões, no entanto, as defesas do sistema respiratório evitam que

elas provoquem doenças. Entretanto, quando um agente irrita e inflama os tecidos, como no caso do  $\text{NO}_2$ , estas defesas ficam prejudicadas, as capacidades bactericidas do sistema respiratório falham e rompe-se o equilíbrio entre as bactérias e o organismo. Dessa forma, instalam-se as broncopneumonias infecciosas que têm de ser tratadas com antibióticos.

Assim, uma vez que houve um dano permanente ao sistema de defesa respiratória, o indivíduo estará sempre sujeito a infecções das vias respiratórias e dos pulmões. O  $\text{NO}_2$ , tal como os gases irritantes em geral, é capaz de induzir alterações permanentes ao organismo, especialmente ao sistema respiratório.

### ***Óxidos de Enxofre (SO<sub>x</sub>)***

Dois óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) são importantes na poluição do ar: o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e o trióxido de enxofre (SO<sub>3</sub>). São produtos dos processos de combustão, como pode ser observado pela equação 2.1:



Devido à maior percentagem no ar, o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) será tratado mais minuciosamente.

### ***Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>)***

O dióxido de enxofre é um gás amarelo, com odor característico de enxofre e bastante irritante. Em contato com superfícies úmidas e a própria umidade do ar, transforma-se primeiramente em ácido sulfuroso, H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>. O fenômeno é representado pela reação apresentada pela equação 2.2:



Para chegar a ácido sulfúrico há a introdução de um átomo de oxigênio, facilmente obtido da atmosfera. Dessa forma, obtém-se a equação 2.3:



A intoxicação por  $\text{SO}_2$  é aguda e fatal. Simplesmente queima as vias respiratórias, desde a boca e o nariz até aos alvéolos. A destruição é marcada por inflamação, hemorragia e necrose dos tecidos. Na realidade tal situação dramática não ocorre, nem mesmo quando se emprega o pior tipo de óleo diesel com os mais altos teores de enxofre, pois a quantidade de  $\text{SO}_2$  é pequena.

As quantidades de  $\text{SO}_2$  lançados no ar, sobretudo pelos canos de escapamentos de ônibus e caminhão, provocam irritações discretas, mas importantes ao longo prazo. Se o nível do gás for alto a ponto de ser decretado alerta por órgãos de controle ambiental, como ocorre, por exemplo, no estado de São Paulo onde as pessoas sentem ardência nos olhos, nariz e garganta e, por vezes, tosem (é evidente que na situação real há um somatório de efeitos com outros gases). Nas situações habituais do centro de São Paulo, em que o ar é apenas inadequado, não há sintomas, porém as quantidades ínfimas de  $\text{SO}_2$  liberados pelos milhares de escapamentos vão minando as defesas respiratórias. O mecanismo a seguir se desenvolve:

- A mucosa respiratória que tapeta o nariz, a traquéia e os brônquios, enfim a região chamada de vias aéreas superiores, é muito engenhosa. Possui uma camada celular com vários tipos de células, sendo no caso aqui apresentado as células mucosas e células ciliadas. As primeiras secretam muco recobrimo com uma camada fina as vias aéreas superiores, as outras movimentam seus cílios de tal modo que a camada de muco é continuamente deslocado de dentro para fora, dos pulmões para à boca. O muco é pegajoso e próprio, portanto, para prender partículas de todo tipo que entram pelas vias aéreas durante a respiração. Graças ao trabalho das células ciliadas, as partículas ou mesmo as bactérias presentes no muco não chegam à intimidade dos pulmões mas são expulsas para a boca e imperceptivelmente deglutidas. Uma vez no

estômago, o ácido clorídrico e o restante do tubo digestivo se encarregam delas. Este sistema de defesa é chamado de aparelho muco-ciliar.

- O  $\text{SO}_2$  é muito solúvel e ao chegar na mucosa respiratória, sabidamente úmida, encontra água. Assim transforma-se em ácido sulfuroso e ou ácido sulfúrico que, mesmo em quantidades muito pequenas, ao longo do tempo lesam o aparelho muco-ciliar e, em conseqüência, uma das defesas importantes do pulmão. A doença que provoca é a traqueo-bronquite crônica que, depois de certo tempo é irreversível, pois as defesas foram definitivamente comprometidas. Desse modo tem-se uma afecção inflamatória crônica das vias aéreas superiores, cujo portador fica predisposto a freqüentes infecções respiratórias, por exemplo, broncopneumonias, porque o ar que respiramos contém, na maioria das vezes, bactérias e vírus.

### ***Hidrocarbonetos (CxHy)***

Os hidrocarbonetos, HCs, constituem uma grande família de substâncias orgânicas compostas de carbono e hidrogênio. Os combustíveis fósseis: (gasolina e óleo diesel), possuem centenas de HCs, alguns formados por longas cadeias de carbono.

Na queima dos combustíveis fósseis, a situação persiste: os gases de emissão da combustão da gasolina e do óleo diesel contêm muitos HCs distintos, entre eles uma família especial, a dos hidrocarbonetos poli-cíclicos aromáticos<sup>1</sup> HPAs.

Muitos HCs não têm efeitos sobre a saúde, a não ser em concentrações altíssimas que nunca ocorrem nas poluições atmosféricas. Entretanto, existem HCs que são perigosos por serem irritantes e agirem sobre a medula óssea provocando anemia e leucopenia, isto é, diminuindo o número de glóbulos vermelhos e brancos, e, sobretudo por provocarem câncer. Neste caso, ressalta-se que a correlação entre os níveis de HPAs, densidade de tráfego e incidência de câncer pulmonar foi demonstrada e, em conseqüência, foram desenvolvidos os catalisadores que reduzem a quantidade de HPAs emitidas pela queima de gasolina e óleo diesel. No Brasil, esses catalisadores já são utilizados há algum tempo.

### ***Aldeídos (R-CHO)***

---

<sup>1</sup> Dá-se o nome de aromáticos a todos os compostos orgânicos que têm o núcleo benzênico (benzeno) na molécula. Chamam-se de poli-cíclicos aqueles compostos que apresentam mais de um anel em sua estrutura, por exemplo, o antraceno, que tem 3 anéis aromáticos condensados.

Aldeídos são compostos químicos resultantes da oxidação parcial dos álcoois. Assim os álcoois metanol e etanol ao perderem um átomo de hidrogênio (perda de hidrogênio, aumento de proporção de oxigênio na molécula e, por isso, fala-se em oxidação dos álcoois) dão origem ao metanal ou aldeído fórmico (AF) e etanal ou aldeído acético (AA). No contexto da poluição do ar, os aldeídos interessam por causa dos veículos que usam combustíveis como metanol e etanol, principalmente. Os aldeídos emitidos pelos automóveis são o AF e o AA.

- **Aldeído Fórmico (AF)** - Na temperatura ambiente o aldeído fórmico, AF, é um gás incolor e de cheiro muito agressivo e asfixiante. O que se encontra como formol no comércio é a solução aquosa de AF. Na medicina, é usado como desinfetante de salas de cirurgias ou outras aplicações como pelos anatomistas e patologistas para preservarem tecidos, órgãos e cadáveres. Também é muito consumido na indústria da madeira, de plásticos, de vernizes, etc. O AF é componente dos gases de escapamento e é emitido em quantidades muito pequenas, tanto no caso do álcool como no caso da gasolina (devido à composição com álcool). A contribuição para a poluição devido ao AA é maior devido ao maior número de automóveis movidos a álcool etílico.
- **Aldeído Acético (AA)** - O aldeído acético, AA é um líquido a 21<sup>0</sup>C. Acima desta temperatura, transforma-se em gás. É explosivo, incolor e de cheiro característico, desagradável quando em altas concentrações. É extensivamente utilizado na indústria química para preparação de outros produtos como o cloral, ácido tricloro-acético, inseticidas, etc. No contexto da poluição do ar, os aldeídos interessam por causa dos veículos que usam combustíveis como metanol e etanol, principalmente. Os aldeídos emitidos pelos automóveis são o AF e o AA.

O etanol é parcialmente oxidado em AA que nas temperaturas do motor transforma-se em gás e é emitido junto com as demais substâncias. Sua permanência na atmosfera é curta porque é extremamente reativo, transformando-se rapidamente em outros compostos. Por essa razão é muito difícil obter altas concentrações de AA no ar, de forma estável e por longo tempo. Para efeitos biológicos, o AA é classificado como irritante e narcótico. Em altas doses e se injetado no organismo, este solvente também se mostra cancerígeno. Contudo na prática, ninguém é injetado com AA e, seu

potencial neo-plásico é, até prova em contrário, apenas experimental. Sua neurotoxicidade é comprovada em altas concentrações na atmosfera, somente através de ensaios em cobaias, obtidos no laboratório. E causam vertigens, convulsões, coma e morte dos ratos. A autópsia evidencia graves lesões no sistema nervoso central dos animais. Concentrações menores irritam as mucosas dos olhos, do nariz e das vias respiratórias em geral, e provocam constrição dos brônquios, ou seja, uma crise asmática.

### ***Material Particulado (MP)***

As fábricas e todos os veículos motorizados enchem a atmosfera com material particulado, MP. Os caminhões e ônibus a diesel lançam ao ar gases e material particulado e este constitui a maior parte da massa da exaustão de seus motores. Cerca de 80% do material particulado é fuligem, a fumaça negra que se vê saindo pelos canos de escapamento. O material particulado não é uma substância, mas, sim, um complexo muito grande de elementos que se agregam em partículas. No caso da fuligem a maior parte da partícula é constituída por carvão, que não causaria por si grandes danos ao organismo, contudo, acontece que há uma tendência das outras substâncias existentes no ar a se aderirem à partícula, e aí que começa o problema do sistema respiratório.

Na atmosfera, em qualquer ar por mais limpo que seja, existe poeira. São partículas de diversos tamanhos: se muito grandes caem logo pela força da gravidade, se menores flutuam no ar e podem ser inaladas pelos seres vivos. No homem, essas são retidas nas vias respiratórias superiores pelo aparelho muco-ciliar, porém, algumas partículas muito pequenas (menores que 10 micrômetros), penetram até a intimidade do pulmão e depositam-se nos alvéolos.

O tecido pulmonar possui um sistema de defesas eficiente que remove a poeira que nele penetra.

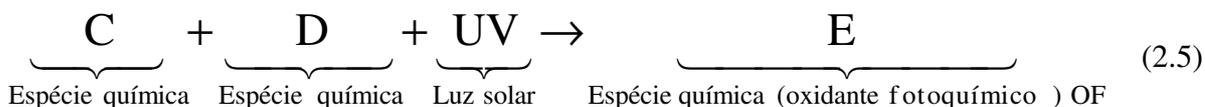
Células especializadas, os macrófagos, procuram fagocitar as partículas e o sistema linfático drena aquelas que escaparam dessas células a filtros apropriados, chamados de linfonodos. Enquanto que o aparelho muco-ciliar retira rapidamente do organismo as partículas que nele ficaram presas, os macrófagos e o sistema linfático mantêm por um tempo longo as sujeiras nos pulmões e tecidos adjacentes. A fuligem é composta de partículas suficientemente pequenas para penetrarem nos alvéolos pulmonares e carregam consigo todas

as substâncias adsorvidas a elas. O problema se concentra aí, pois no ar há poluentes de todos os tipos, irritantes, tóxicos, cancerígenos, cuja ação é facilitada pelo material particulado porque, além de levá-los ao tecido pulmonar, mantendo-os por longo tempo junto as células, permitindo que pequenas quantidades de substâncias tóxicas causem danos graças à sua prolongada permanência no organismo.

### ***Oxidantes Fotoquímicos (OF)***

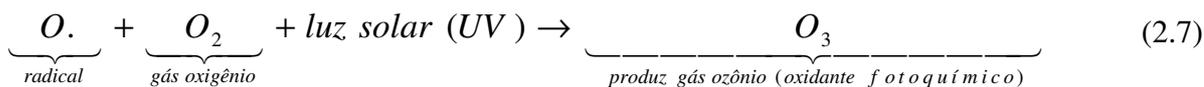
A luz solar causa uma série de reações em cadeia (via radical livre) entre as substâncias existentes na atmosfera que, chamadas de reações fotoquímicas. Os produtos que resultam dessas reações são milhares e são divididos em categorias: *a)* compostos que são resultantes da ação da luz solar em si; *b)* resultantes de oxidações químicas denominados de oxidantes fotoquímicos, OFs. Os principais oxidantes fotoquímicos são: ozônio, aldeídos, cetonas, peróxidos, etc.

Reações fotoquímicas como é o caso das reações foto-oxidantes são complexas e, geralmente, têm várias etapas, cuja simplificação é apresentada a seguir, de forma esquematizada, pelas equações 2.4 e 2.5:

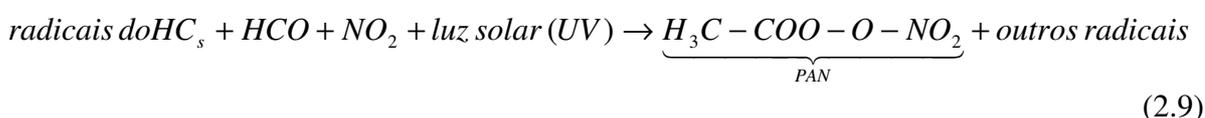


A espécie *E* pode ou não promover novas reações dependendo da estabilidade desta espécie e das condições reacionais onde ocorre reação em cadeia. Pode-se citar como exemplo a formação de ozônio a partir do poluente primário NO<sub>2</sub>, equações 2.6 e 2.7:





O ozônio é considerado o oxidante fotoquímico mais importante e é bastante irritante. Outro oxidante fotoquímico importante é peróxiacetil-nitrato, PAN, cuja fórmula é  $H_3C-COO-O-NO_2$ , dado pela equações 2.8 e 2.9:



O peróxi-acetil-nitrato, PAN, ozônio, aldeídos e outros oxidantes fotoquímicos são constituintes do *smog* fotoquímico, parte daquela nuvem marrom-avermelhada em dia quente de inverno que irrita os olhos e a garganta (*smoke* = fumaça e *fog* = neblina e expressa uma poluição atmosférica típica). A ação tóxica deve-se, principalmente, a capacidade de oxidar proteínas, lipídios e outras substâncias químicas integrantes das células, lesando ou matando as mesmas, dependendo da concentração e do tempo de exposição. Assim, os oxidantes fotoquímicos agravam a ação irritante dos outros poluentes e intensificam as inflamações e infecções do sistema respiratório.

## 2.5. MEDIDAS DE PREVENÇÃO E CONTROLE

### 2.5.1. Catalisadores automotivos

Visando reduzir a concentração de substâncias nocivas lançadas na atmosfera, foram implementados aperfeiçoamentos nos motores dos automóveis, principalmente na substituição do sistema de carburação por injeção eletrônica e o uso de catalisadores nos escapamentos dos automóveis (CETESB, 2003). Os catalisadores utilizam como suporte um material cerâmico (cordierita) em forma de colméia, formada por minúsculos canais que perfazem uma

superfície total do tamanho equivalente a quatro campos de futebol. Sobre essa colméia são impregnados com aproximadamente 1,5 gramas de metais preciosos os quais constituem o catalisador propriamente dito. Nesse suporte, é depositado o material catalítico composto por alumina de alta área específica, sobre a qual são adicionados elementos ativos tais como platina (Pt), o paládio (Pd), o ródio (Rh) e promotores como o óxido de cério ( $\text{CeO}_2$ ), além de outros elementos, como o níquel (Ni), o zircônio (Zr), o bário (Ba) e o lantânio (La). Basicamente, o efeito catalítico destes catalisadores se deve ação dos metais nobres, auxiliados pelo óxido de cério ( $\text{CeO}_2$ ).

Ainda segundo a CETESB (2003), as principais reações que ocorrem nesses catalisadores são a oxidação do monóxido de carbono (CO), e dos hidrocarbonetos e a redução dos óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ). Tendo em vista que as reações de oxidação e de redução são realizadas simultaneamente é necessário manter a relação entre o poluente e o oxigênio ( $\text{O}_2$ ) próxima ao ponto estequiométrico. Assim, utilizam-se sensores de oxigênio ( $\text{O}_2$ ) que controlam o teor deste gás em regiões próximas ao catalisador. Estes procedimentos resultam numa inerente oscilação do teor de oxigênio na mistura reacional, a qual é minimizada pela presença do óxido de cério no sistema. A função do  $\text{CeO}_2$  é fornecer oxigênio da sua rede cristalina, quando a mistura está rica, ou seja, com falta de oxigênio, sendo este óxido posteriormente re-oxidado, quando a mistura se encontra em condições pobres, ou seja, com excesso de oxigênio.

### **2.5.2. Programas de controle**

O rápido crescimento da frota veicular, principalmente a partir de 1980, aumentando a contribuição de poluentes no ar, principalmente nos grandes centros urbanos e regiões metropolitanas, levou o Governo Federal a instituir, em 1986, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, PROCONVE, e estabelecer os limites de emissões que os veículos fabricados a partir desta data deveriam atender para serem comercializados. De forma resumida, os dois principais programas nacionais para a qualidade do ar, instituídos por resoluções do CONAMA são:

- PROCONVE – (Resolução 018/86 do CONAMA, de 06/05/1986) – Programa Nacional de Controle do Ar por Veículos Automotores, objetivando a redução de emissões.

- PRONAR – (Resolução 005/89 do CONAMA, de 15/07/1989) – Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar, cujo objetivo é contribuir para a gestão ambiental e o desenvolvimento sócio-econômico do país, estabelecendo padrões de qualidade do ar e padrões de emissão.

## CAPÍTULO 3. PARÂMETROS AMBIENTAIS E A POLUIÇÃO DIFUSA URBANA

### 3.1. CICLO HIDROLÓGICO

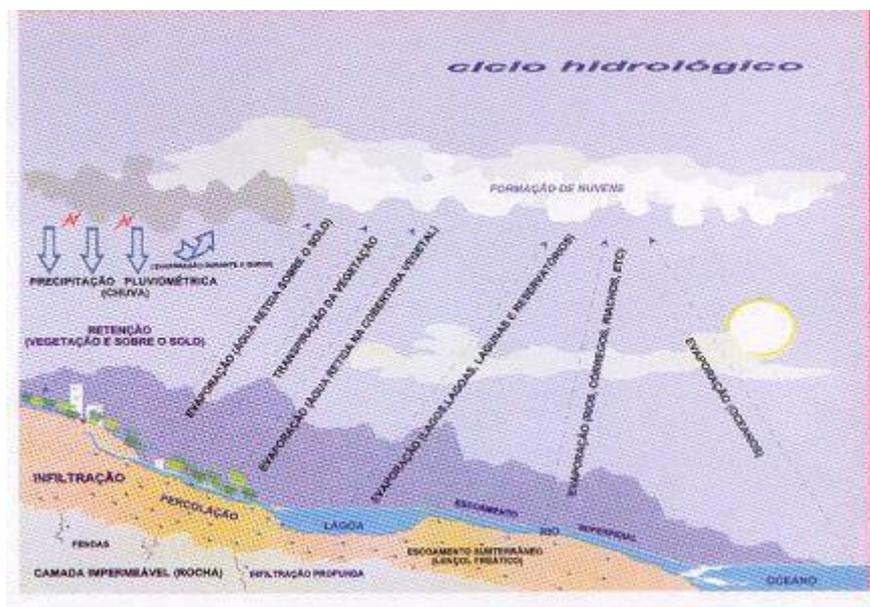
As águas na natureza se movimentam, circulam e se transformam no interior das três unidades principais que compõem o nosso Planeta: atmosfera, hidrosfera e litosfera. A dinâmica das transformações e a circulação da água em cada uma dessas unidades formam um grande, complexo e intrínseco ciclo denominado *ciclo hidrológico*. Por se tratar do ciclo representativo do caminho das águas nos diversos estados físicos não permite, claramente, a identificação do início do mesmo (COSTA e TEUBER, 2001). O que se observa neste circuito é que, no momento em que a água evapora dos oceanos e da superfície da terra, passa a integrar o conteúdo da atmosfera na forma de umidade (vapor d'água). Dependendo das condições climáticas e da combinação de outros fatores físicos, o vapor d'água se condensa nas camadas mais altas, formando nuvens que se modelam e se movimentam em função do deslocamento das massas de ar (vento). Em determinadas condições físicas, surgem gotículas de água que se precipitam das nuvens e, sob a ação da força da gravidade, formam a precipitação pluviométrica, ou seja, a chuva.

As águas de chuva podem ser interceptadas, em parte, pela vegetação (copa das árvores) que cobre o terreno e/ou as superfícies superiores das construções existentes (telhados, terraços, outros). O que excede a essa retenção, soma-se àquela parcela de chuva que atingiu diretamente o solo, se infiltrando através dos vazios entre os grãos do solo. A água infiltrada percola (escoa através dos vazios do solo) na direção das camadas mais profundas, contribuindo para o abastecimento dos reservatórios subterrâneos rasos (lençol freático) e profundos (aquíferos). A **Figura 3.1** apresenta um esquema do ciclo hidrológico.

Quando a capacidade de infiltração do solo é superada, o excesso das águas de chuva vai avolumar os escoamentos superficiais já iniciados sobre as áreas impermeáveis e as de menor permeabilidade, na direção das regiões mais baixas, através das galerias de águas pluviais, quando houver, dos córregos, riachos e rios, chegando, por fim, ao oceano onde a continuidade do ciclo se manifesta novamente através dos mecanismos de evaporação.

Convém lembrar que a água retida na vegetação, bem como, aquela que ficou armazenada nas pequenas depressões do terreno, nos lagos, lagoas, lagunas e reservatórios

construídos pelo homem, também passam pelo processo de evaporação, aumentando assim a umidade da atmosfera.



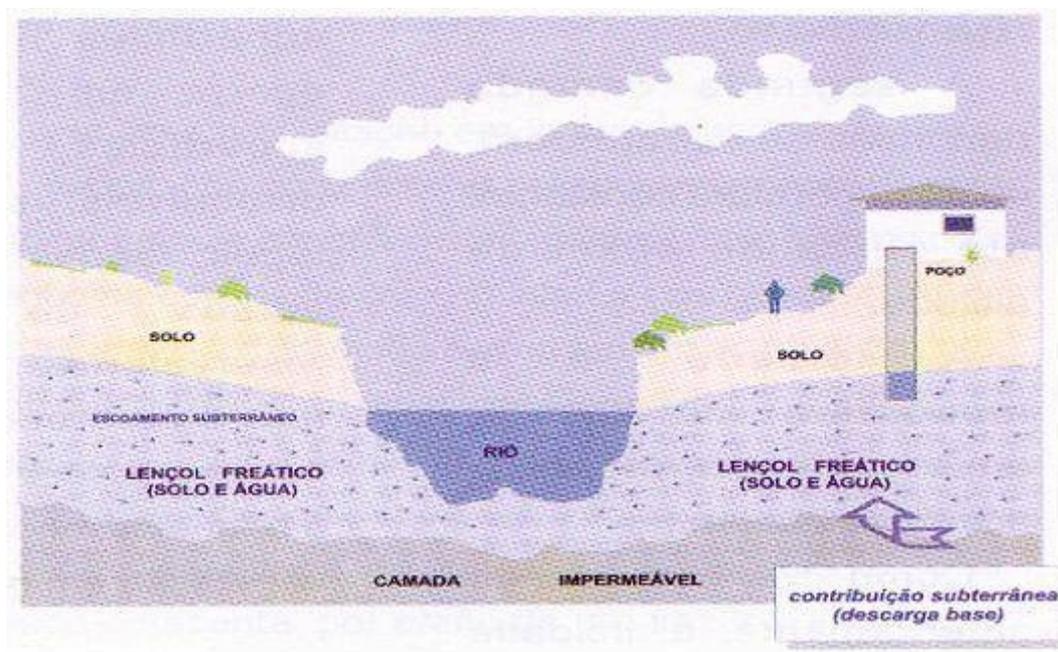
**Figura 3.1** Esquema do ciclo hidrológico (FONTE: COSTA e TEUBER, 2001).

Durante os períodos sem chuva, as águas armazenadas nos reservatórios fluem lentamente, pela ação da gravidade. A infiltração das águas vai, gradativamente, encharcando a camada superior do solo, mais porosa em decorrência da ação das raízes das plantas e dos hábitos da fauna residente, passando a percolar para as camadas inferiores mais densas e menos permeáveis. Forma-se uma zona de saturação dando origem à *descarga base* ou *escoamento base*, representada esquematicamente na **Figura 3.2**. Este escoamento vai também alimentar os cursos de água, principalmente nas partes mais baixas da bacia (rios, lagos, lagunas, reservatórios, etc).

Pela **Figura 3.2** também é possível observar que quanto maior a retenção na cobertura vegetal e a infiltração das águas de chuva, menor será o volume excedente disponível para o escoamento superficial e, a princípio, pressupõe-se menor chance de ocorrência de enchentes e inundações.

Deve ficar claro entretanto que tais fatores dependem da quantidade de chuva, dos limites das capacidades de retenção superficial, das taxas de infiltração características do solo existente e das chuvas antecedentes.

Dessa forma, quanto maior as oportunidades das águas de chuva se infiltrarem, maior será a recarga dos reservatórios subterrâneos, fortalecendo a capacidade de abastecimento dos corpos de água durante os períodos típicos de estiagem (sem chuva).



**Figura 3.2. Representação esquemática da contribuição subterrânea ou descarga-base (FONTE: COSTA e TEUBER, 2001).**

### 3.2. ESCOAMENTOS DAS ÁGUAS DE CHUVA

As águas de chuva percorrem diferentes caminhos antes de alcançar os cursos d'água (córregos, riachos, ribeirões, rios, canais e lagoas costeiras), e variam em função da intensidade, configurações e características espaciais da chuva, cobertura vegetal, topografia do terreno, tipo do solo, sistema de drenagem natural, chuva antecedente, etc.

Objetivando o melhor entendimento das questões apresentadas nos capítulos seguintes, apresenta-se a seguir uma breve descrição do escoamento das águas de chuva tomando como exemplo ilustrativo o cenário resultante do evento de uma precipitação pluviométrica de longa duração, segundo descrição ainda apresentada por COSTA e TEUBER, 2001.

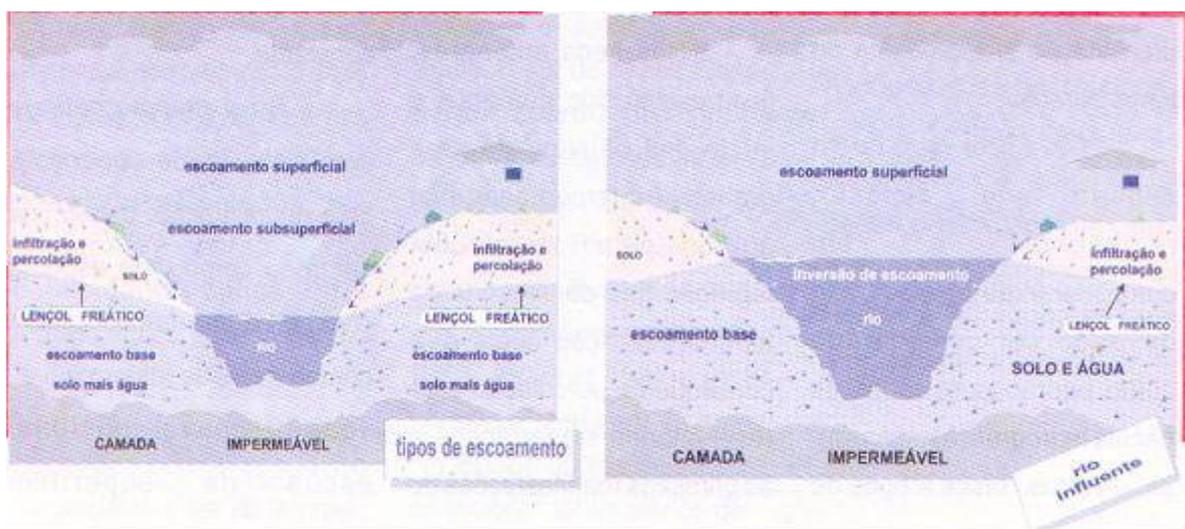
Como apresentado, após o início das chuvas, dá-se a gradativa interceptação das águas pela vegetação, retenção nas depressões do terreno, infiltração direta e a conseqüente

percolação para reservatórios subterrâneos e as primeiras manifestações do escoamento superficial. A infiltração é mais intensa no início da chuva, uma vez que o solo está menos úmido. A taxa de infiltração vai gradativamente crescendo até um quadro de equilíbrio, quando, a princípio, dependendo do tipo do solo, permanece praticamente constante.

Se a chuva continua com intensidade superior à taxa de infiltração, o solo fica saturado como uma esponja cheia de água e reage quase como uma área impermeável. Toda a chuva adicional escoar na superfície proporcionando o pleno preenchimento das depressões e/ou áreas de acumulação natural e o conseqüente transbordamento para os terrenos adjacentes. Desse momento em diante, fica mais bem definido o *escoamento superficial direto*, isto é, aquele formado pelas águas que não se infiltraram e não ficaram retidas nas depressões e na vegetação.

Em conseqüência das baixas velocidades de infiltração e percolação das águas até atingirem o lençol freático e do próprio escoamento subterrâneo no meio poroso, as contribuições e as variações da descarga-base só serão percebidas nos cursos de água, muito tempo depois do início da chuva. Nos terrenos mais inclinados, dependendo da permeabilidade do solo logo abaixo da superfície, pode ocorrer um fluxo de água denominado de *escoamento sub-superficial*. Esse escoamento se intensifica com o encharcamento das primeiras camadas do solo. Em dado momento, dependendo da intensidade da chuva, os três tipos de escoamento estarão contribuindo ao mesmo tempo para o curso de água.

É importante salientar que cada um dos tipos de escoamento abordados, (o superficial, o sub-superficial e o de base), atingem os cursos de água em tempos distintos. O mais rápido e volumoso é o escoamento superficial, chegando em seguida o sub-superficial e muito tempo depois o de base. É interessante mencionar também, que sob determinadas condições topográficas, em função da capacidade de infiltração e ocupação do solo, pode acontecer uma elevação mais rápida do nível das águas nos cursos de água em comparação com o crescimento do nível do lençol subterrâneo. Nessa situação, passa a haver uma inversão do fluxo de contribuição subterrânea, isto é, do curso de água no sentido do lençol freático. Quando isso ocorre, o curso de água passa a denominar-se *influyente*, não mais *efluente*, reforçando o suprimento dos reservatórios subterrâneos. As **Figuras 3.3a e 3.3b** apresentam, de forma esquemática, os dois tipos de reservatórios.



**Figuras 3.3a. Curso d'água efluente; 3.3b. Curso d'água influente (FONTE: COSTA e TEUBER, 2001).**

### 3.3. HIDROGRAMA

O hidrograma é uma representação gráfica que relaciona vazão de água de chuva com o tempo de duração de um determinado evento pluviométrico.

A vazão média é o resultado de um determinado volume de água pelo intervalo de tempo que esse volume precisa para passar através de uma seção de um curso de água. Portanto,  $Q=V \times t$  onde  $Q$  é a vazão;  $V$  é o volume de água determinado e  $t$  é o intervalo de tempo. A vazão é geralmente expressa em metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ); litros por segundo (L/s) ou litros por hora (L/h) A **Figura 3.4.** apresenta um hidrograma para um dada chuva hipotética.

Portanto, o hidrograma é um registro gráfico que relaciona a variação das vazões de águas de chuva, escoadas através de uma determinada seção transversal de um curso de água durante um intervalo de tempo, durante um evento pluviométrico. Quando o período entre uma chuva e outra for mais longo, pode-se interpretar que a vazão existente no curso de água momentos antes do próximo evento pluviométrico, é representativa das contribuições da própria nascente, somadas com a parcela afluente do lençol freático (escoamento-base). Iniciada a chuva, as águas dos escoamentos superficiais juntam-se àquelas do escoamento base. A **Figura 3.5.** apresenta um exemplo teórico aproximado das diferentes parcelas dos escoamentos existentes que compõem um hidrograma observado após um período chuvoso isolado e de mesma intensidade sobre a bacia.

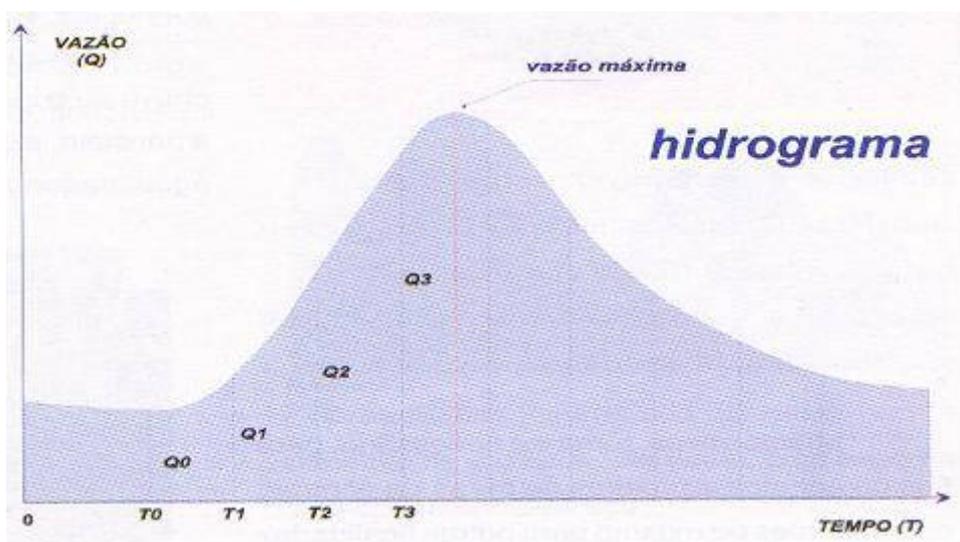


Figura 3.4. Exemplo de um hidrograma para uma chuva hipotética (FONTE: COSTA e TEUBER, 2001).

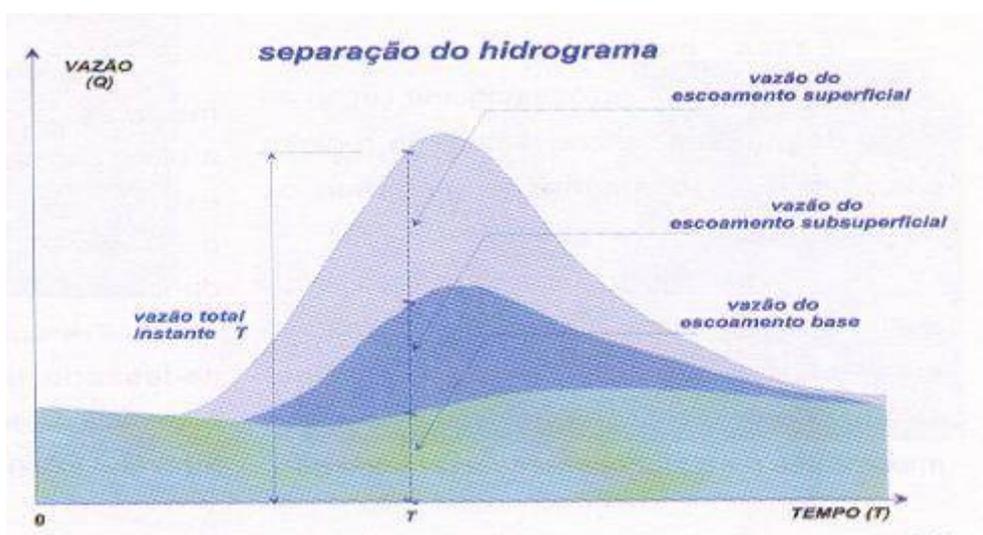
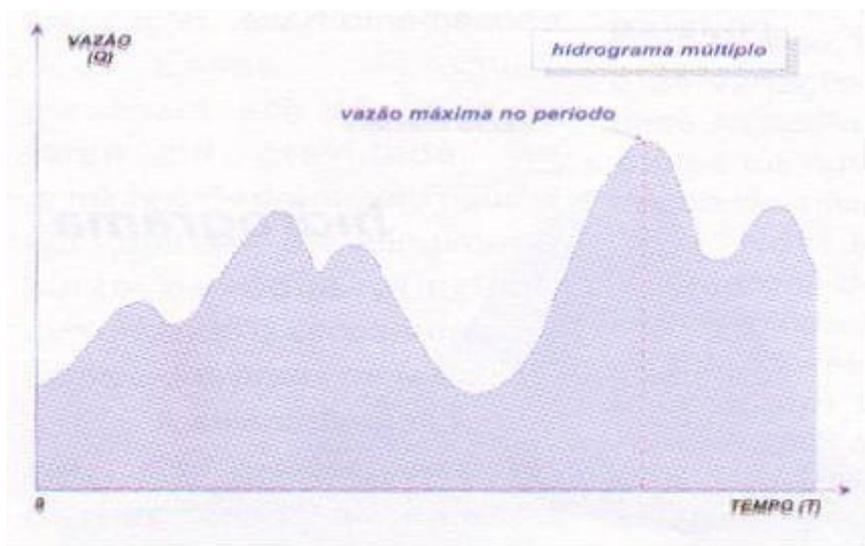


Figura 3.5. Exemplo de um hidrograma hipotético ressaltando as diferentes parcelas de escoamento (FONTE: COSTA e TEUBER, 2001).

Vale lembrar que as figuras apresentadas representam esquemas hipotéticos. Os hidrogramas na natureza possuem formas mais complexas, sendo hidrogramas compostos, que vão depender da distribuição da chuva no tempo e no espaço, das características da bacia hidrográfica e da chuva antecedente.

Quando as alturas de chuva não são uniformes sobre a bacia e se manifestam com diferentes intensidades, produzem-se hidrogramas com picos distintos, conforme apresentado na **Figura 3.6**.



**Figura 3.6. Exemplo de um hidrograma hipotético com diferentes intensidades de precipitação (FONTE: COSTA e TEUBER, 2001).**

Muitas vezes, torna-se necessário, para fins de estudos e projetos de obras de controle de enchentes ou mesmo para outras finalidades da engenharia, o conhecimento do hidrograma contínuo ao longo dos meses e anos, em seções do curso de água de interesse estratégico.

Observa-se durante e/ou após um evento de precipitação que as vazões começam a crescer até um determinado valor máximo, podendo decrescer gradativamente, durante um período e dependendo das características da chuva, voltar a crescer. Forma-se um hidrograma de enchente simples ou complexo que continuará seu caminho para jusante recebendo novas contribuições e mudando constantemente seu formato. O desenho do hidrograma vai depender de um conjunto de fatores climatológicos e das peculiaridades físicas da bacia hidrográfica.

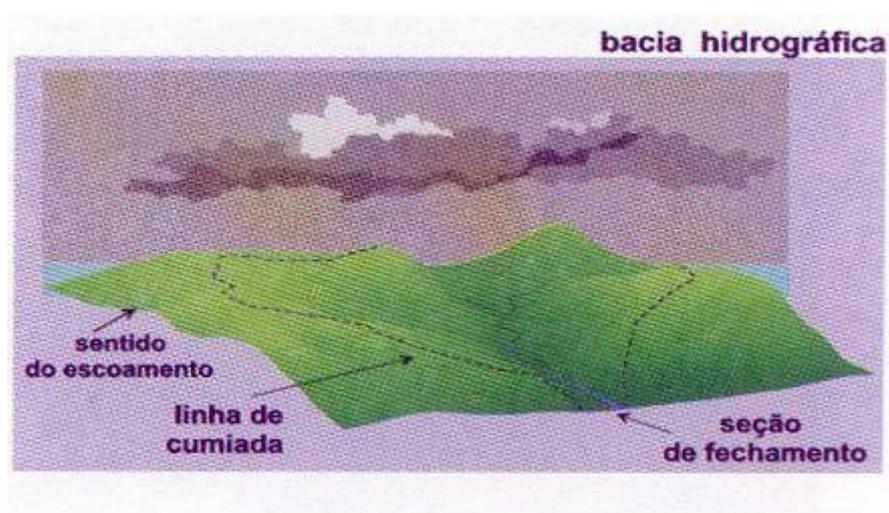
### **3.4. BACIA HIDROGRÁFICA**

Sob o ponto de vista hidrológico, a bacia hidrográfica de um curso de água em uma dada seção, é representada pela área limitada pela linha de cumeada (linha dos pontos mais altos) que a separa das bacias vizinhas, sendo fechada na seção considerada. A área da bacia é

denominada *área de drenagem* ou *área de contribuição*, geralmente medida em quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>) ou hectares (ha).

A bacia hidrográfica, de acordo com sua definição, pode estar limitada a qualquer seção de um curso d'água, podendo ser a confluência com outro curso ou sua desembocadura em um reservatório, baía, lago ou oceano.

Vale lembrar que a lei federal que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9433 de 08/01/1997 destaca em seu capítulo I, artigo 1º, inciso V, que “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos”. A **Figura 3.7.** apresenta um esquema de uma bacia hidrográfica.



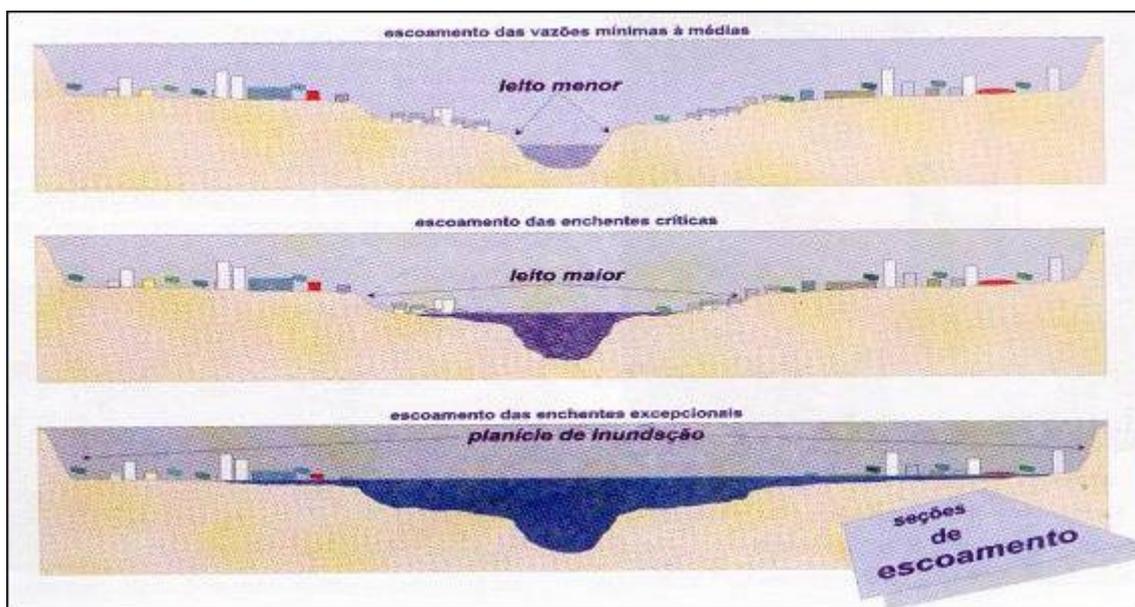
**Figura 3.7.** Vista esquemática de uma bacia hidrográfica hipotética (FONTE: COSTA e TEUBER, 2001).

Sob ponto de vista físico da bacia, os fatores mais relevantes são: área de drenagem, tipo de solo, cobertura vegetal, geometria, declividades, disposição predominante dos cursos de água e densidade de drenagem.

### 3.5. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Conforme apresentado na literatura especializada, o *tempo de concentração* é o intervalo de tempo necessário para que as águas precipitadas, com a mesma intensidade sobre toda a bacia hidrográfica, estejam contribuindo para seção limite da bacia, atendidas as necessidades de infiltração, de retenção da vegetação e depressões do terreno. Em outras palavras, é o tempo necessário para que uma partícula com as características de um pingo de chuva se desloque do ponto mais longínquo da bacia, percorrendo os caminhos de drenagem e alcance a seção limite. Uma vez atingido o tempo concentração, supõe-se que a contribuição das águas de chuva seja máxima junto à seção considerada, para aquela chuva homogênea e de longa duração.

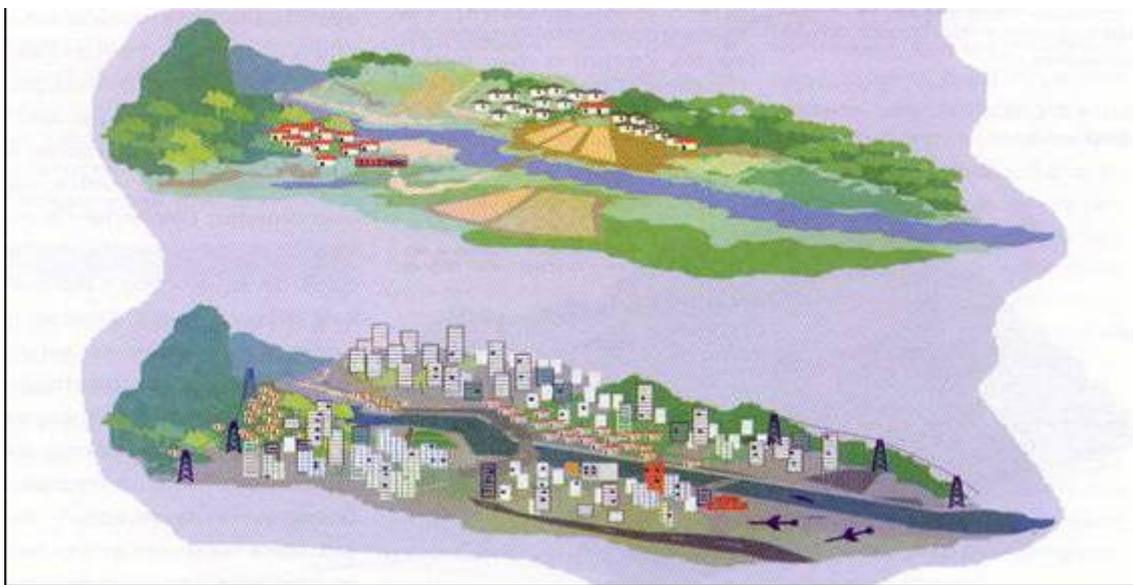
Essa contribuição pode ultrapassar a capacidade do leito menor, extravasar para o leito maior, ou mesmo, dependendo da intensidade e duração e outros fatores físicos, ocupar a planície de inundação. A contribuição máxima será tanto maior quanto maior for a área da bacia hidrográfica (área de drenagem) para a mesma intensidade e duração da chuva. Existem inúmeras configurações geométricas de bacia com diferentes conformações de calhas ou leitos de escoamento. Em geral a seção transversal do curso de água pode ser dividida em três segmentos distintos: a calha ou leito menor, leito maior e planície de inundação, conforme apresentado nos esquemas da **Figura 3.8**.



**Figura 3.8.** Exemplo de uma seção transversal de um curso d'água com os três tipos de seções de escoamento (FONTE: COSTA e TEUBER, 2001).

### 3.6. IMPACTOS AMBIENTAIS

Segundo COSTA e TOUBER, 2001, os impactos devido à urbanização sobre o escoamento na bacia são evidentes, pois a camada superficial do solo, composta pelo húmus e ocupada pelas ramificações das raízes, oferece grande capacidade de infiltração, absorvendo com facilidade as águas de chuva e reduzindo o percentual dos escoamentos superficiais. O desmatamento e a impermeabilização do solo da bacia hidrográfica corta o ciclo de reabastecimento do húmus, potencializa os processos erosivos, diminui a capacidade de infiltração e aumenta o volume dos escoamentos superficiais, que atuarão diretamente no formato dos hidrogramas de enchente. O crescimento urbano desordenado, ao longo dos anos, sem o respeito a esses princípios básicos da natureza, aumenta o risco de extravasamentos e inundações para as mesmas chuvas intensas que, no passado, se moldavam as condições naturais das calhas dos cursos de água, fluindo sem problemas. A **Figura 3.9.** apresenta esquematicamente uma bacia urbanizada.



**Figura 3.9. Esquema de uma bacia hidrográfica urbanizada (FONTE: COSTA e TEUBER, 2001).**

No entanto, outros impactos, tão importantes quanto a parte quantitativa das enchentes, são aqueles devido ao aumento da produção de sedimentos e a degradação da qualidade da água drenada pelos esgotos cloacal e pluvial e a contaminação dos aquíferos.

Durante o desenvolvimento urbano, o aumento dos sedimentos produzidos pela bacia hidrográfica é significativo, devido às construções, limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias, entre outras causas.

A produção de sedimentos tem conseqüências ambientais importantes para as áreas urbanas. Entre elas, podem-se citar:

- assoreamento da drenagem, com redução da capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos. O aparecimento de vegetação dentro do curso d'água, ajuda a reduzir o escoamento das enchentes;
- transporte de substância poluente agregada ao sedimento. Durante as enchentes, as substâncias existentes na água da lavagem das ruas podem agregar-se aos sedimentos.

Vários resultados apresentados na literatura de água de drenagem pluvial apresentam que a qualidade das águas oriundas de drenagem urbana não é melhor que a de um efluente doméstico após ser tratada em nível de tratamento secundário. Em geral, a quantidade de material suspenso na drenagem pluvial é muito superior à encontrada no esgoto *in natura*. Esse volume é mais significativo no início das enchentes. Os esgotos podem ser combinados (cloacal e pluvial num mesmo conduto) ou separados (rede pluvial e cloacal separadas). A qualidade da água dos pluviais depende de vários fatores: da limpeza urbana e sua freqüência, da intensidade de precipitação e sua distribuição temporal e espacial, da época do ano e do tipo de uso do solo na área urbana. Existe uma grande variabilidade dos parâmetros de qualidade de acordo com esses fatores. Os aquíferos são contaminados, principalmente, por áreas de depósitos de resíduos sólidos, pelos aterros sanitários e pela infiltração indiscriminada de águas pluviais contaminadas pelo transporte de lixo, sedimentos e lavagem de ruas. O aumento de áreas permeáveis diretas, ou seja, que permitam a infiltração de água não contaminada, possibilitará reduzir o impacto sobre o aquífero.

Uma das principais conseqüências do desenvolvimento urbano, no meio ambiente dos pequenos rios urbanos, tem sido a redução da vazão no período de estiagem. Com o aumento

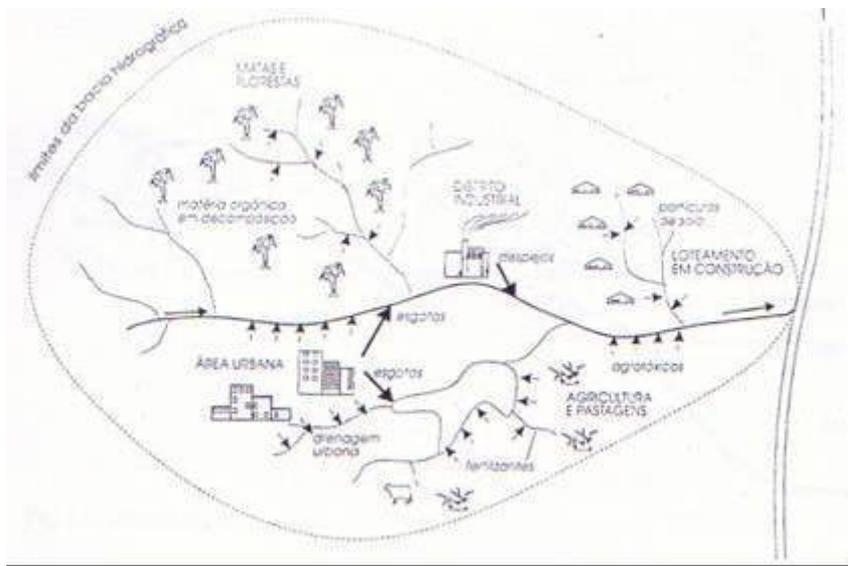
do escoamento superficial devido à impermeabilização, os aquíferos não são abastecidos e a capacidade do rio é reduzida. O agravamento dessa situação, muitas vezes, é devido a esgoto lançado *in natura* ou a ligação clandestina de esgoto cloacal no pluvial, ao longo dos sistemas de drenagem urbana que terminam nos cursos d'água.

### 3.7. QUALIDADE DA ÁGUA

O conceito de “água pura” é praticamente inexistente na natureza. Na ótica do saneamento ambiental, o conceito de qualidade de água é muito mais amplo do que a simples caracterização da água pela fórmula molecular  $H_2O$ . Isto porque a água, devido às suas propriedades de solvente universal e sua capacidade de transportar partículas, incorpora a si diversas impurezas, que acabam por definir e caracterizar a sua qualidade. Os parâmetros que definem a qualidade da água em um ambiente hídrico são resultantes de fenômenos ambientais naturais e/ou decorrentes da ação do homem, conforme apresentado a seguir, (VON SPERLING, 1995):

- **Condições naturais** - mesmo com a bacia hidrográfica preservada nas suas condições naturais, a qualidade das águas subterrâneas é afetada pelo escoamento superficial e pela infiltração no solo, resultante da precipitação atmosférica. O impacto nas mesmas é dependente do contato da água em escoamento ou infiltração com as partículas, substâncias e impurezas no solo. Assim, a incorporação de sólidos em suspensão (ex: partículas de solo) ou dissolvidos (ex: íons oriundos da dissolução de rochas) ocorre, mesmo na condição em que a bacia hidrográfica esteja totalmente preservada em suas condições naturais (ex: ocupação do solo com matas e florestas). Neste caso, tem grande influência a cobertura e a composição do solo.
- **Interferência do Homem** - A interferência do homem, quer de uma forma concentrada, quer de uma forma dispersa, como na aplicação de defensivos agrícolas no solo, contribui na introdução de compostos na água, afetando sua qualidade. Portanto, a forma em que o homem usa e ocupa o solo tem uma implicação direta na qualidade da água. A **Figura 3.10** apresenta um exemplo de possíveis inter-relações entre o uso e ocupação do solo e a geração de agentes alteradores da qualidade da água

de rios e lagos. O controle da água está associado a um planejamento global, ao nível de toda a bacia hidrográfica, e não individualmente, por agente alterador.



**Figura 3.10. Exemplo de possíveis inter-relações entre o uso e ocupação do solo e a geração de agentes alterados da qualidade da água em rios e lagos (FONTE: VON SPERLLING, 1996).**

### 3.8. POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

Conforme apresentado por VON SPERLLING (1996), entende-se por poluição das águas a adição de substâncias ou de formas de energia que, direta ou indiretamente, alterem a natureza do corpo d'água de uma maneira tal que prejudique os legítimos usos que dele são feitos. Esta definição é essencialmente prática e, em decorrência, potencialmente polêmica, pelo fato de associar a poluição ao conceito de prejuízo e aos usos do corpo d'água, conceitos esses atribuídos pelo homem. No entanto essa visão prática é importante, principalmente ao se analisar as medidas de controle para a redução da poluição. Observa-se assim que, os padrões de qualidade de um determinado corpo hídrico será definido em função do uso previsto. A **Tabela 3.1** apresenta a lista dos principais agentes poluidores, suas fontes e os possíveis efeitos ao ambiente e à saúde humana.

**Tabela 3.1. Principais agentes poluidores das águas (FONTE: VON SPERLLING, 1996).**

<b>Poluentes</b>	<b>Principais parâmetro</b>	<b>Fontes</b>	<b>Possíveis efeitos poluidores</b>
Sólidos em suspensão	Sólidos em suspensão totais (SST)	Esgotos domésticos, esgotos industriais, esgotos reutilizados drenagem superficial: urbana, agricultura e pastagens	Problemas estéticos, depósitos de lodo, adsorção de poluentes, proteção de patogênicos
Matéria orgânica biodegradável	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	Esgotos domésticos, esgotos industriais, esgotos reutilizados drenagem superficial: urbana, agricultura e pastagens	Consumo de oxigênio, mortandade de peixes, condições sépticas
Nutrientes	Nitrogênio e fósforo	Esgotos domésticos, esgotos industriais, esgotos reutilizados drenagem superficial: urbana, agricultura e pastagens	Crescimento excessivo de algas, toxicidade aos peixes (amônia), doença em recém-nascido (nitrato), poluição de água subterrânea
Patogênicos	Coliformes	Esgotos domésticos e hospitalares, esgotos industriais, esgotos reutilizados drenagem superficial: urbana, agricultura e pastagens	Doenças de veiculação hídrica
Matéria orgânica não biodegradável	Pesticidas, alguns detergentes, BTX, outros	Esgotos domésticos, esgotos industriais, esgotos reutilizados drenagem superficial: urbana, agricultura e pastagens	Espumas (detergentes), toxicidade (vários), redução da transferência de oxigênio (detergentes), não biodegradabilidade, maus odores (ex: fenóis)
Metais pesados	Elementos específicos (As, Cd, Hg, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn, etc)	Esgotos domésticos, esgotos industriais, esgotos reutilizados drenagem superficial: urbana, agricultura e pastagens	Toxicidade, inibição do tratamento biológico dos esgotos, problemas de decomposição do lodo na agricultura, contaminação da água subterrânea
Sólidos inorgânicos dissolvidos	Sólidos dissolvidos totais (SDT), condutividade elétrica	Esgotos domésticos, esgotos industriais, esgotos reutilizados drenagem superficial: urbana, agricultura e pastagens	Excessiva, prejuízo às plantações (irrigação), toxicidade a plantas (alguns íons), problemas de permeabilidade do solo (sódio)

### 3.8.1. Principais fontes geradoras de carga difusa urbana e seus respectivos poluentes

Conforme apresentado no capítulo 1, existem basicamente duas formas em que a fonte de poluentes pode atingir um corpo d'água: uma é a poluição pontual e a outra é poluição difusa. Na poluição pontual, os poluentes atingem o corpo d'água de forma concentrada no espaço. Um exemplo é o da descarga em um rio de um emissário transportando os esgotos de uma comunidade. Na poluição difusa, os poluentes adentram o corpo d'água distribuído ao longo de parte da sua extensão. Tal é o caso típico da poluição veiculada pela drenagem pluvial natural, a qual é descarregada no corpo d'água de uma forma distribuída, e não concentrada em um único.

A identificação das fontes geradoras da poluição difusa é extremamente importante para que se possa avaliar corretamente seu potencial poluidor, os impactos gerados, bem como na definição de medidas mitigadoras e de controle adequadas. As principais fontes geradoras de cargas difusas são: deposição atmosférica, desgaste da pavimentação, veículos, restos de vegetação, lixo e poeira, restos e dejetos de animais, derramamentos e erosão. Uma breve descrição das principais fontes de poluição difusa urbana é apresentada a seguir.

### **3.8.2. Deposição atmosférica**

Poluentes do ar depositam-se sobre telhados, ruas e demais superfícies da área urbana, resultando na chamada *deposição seca*. A chuva "lava" essas superfícies e, assim, tais poluentes são transportados até os corpos d'água. Os que estão presentes, com maior frequência, são: enxofre, metais, pesticidas, compostos orgânicos, fungos, pólen, solo, nutrientes, asfalto, cinzas e compostos químicos como óxidos, nitritos e nitratos, cloretos, fluoretos e silicatos, (NOVOTNY e CHESTERS, 1981). Os poluentes podem ser carreados pelo escoamento superficial, após sua deposição seca, ou podem ser trazidos pela própria chuva, processo denominado de *deposição úmida*. Nesse caso, gases e partículas presentes na atmosfera dissolvem-se ou são arrastados pela água da chuva e trazidos ao solo. A noção de pureza da água da chuva é incorreta; ao contrário, a chuva é um dos meios mais eficientes de remoção de poluentes atmosféricos, uma vez que apenas partículas com diâmetro superior a 10 µm sofrem deposição seca.

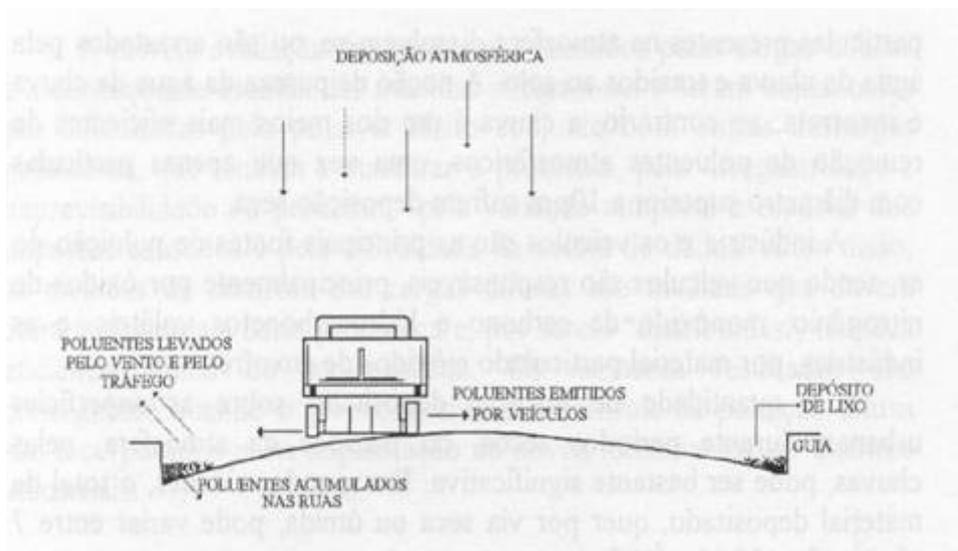
A indústria e os veículos são as principais fontes de poluição do ar, sendo que veículos são responsáveis, principalmente pela emissão de óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e hidrocarbonetos voláteis, e as indústrias, por material particulado e óxidos de enxofre.

A quantidade de materiais depositados sobre as superfícies urbanas, durante períodos secos, ou trazidos da atmosfera, pelas chuvas, pode ser bastante significativa. Em grandes cidades, o total de material depositado, quer por via seca ou úmida, pode variar entre 7 t/km<sup>2</sup>.mês e 30 t/km<sup>2</sup>.mês.

Conforme observado pela literatura especializada, um dos grandes problemas associados à poluição atmosférica é a diminuição do pH da água de chuva, através de um processo denominado de chuva ácida. O menor valor de pH esperado para a água pura, com gás carbônico dissolvido, até a concentração de saturação, é de 5,6. Em locais com concentrações elevadas de óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio na atmosfera, esses se combinam com o vapor d'água e formam os ácidos sulfúrico e nítrico, reduzindo o pH a valores inferiores a 5,6 sendo que já foram registrados valores baixos como 2,7 (BENNETT e LINSTEDT, 1978). Valores medidos no centro de Cubatão, SP, indicavam variação entre 3,7 e 4,7 (MOREIRA-NORDEMANN *et al.*, 1983). A chuva ácida danifica o ecossistema aquático, diminuindo, por exemplo, a população de peixes, além de prejudicar a vegetação.

### **3.8.3. Deposição de poluentes nas ruas**

A **Figura 3.11** apresenta uma representação esquemática do processo de acumulação de poluentes nas ruas. Entre os principais poluentes estão incluídos: resíduos do desgaste da pavimentação, resíduos deixados por veículos, restos de vegetação, dejetos de animais, lixo e partículas de solo como areia e argila. Esse material acumula-se junto às guias e sarjetas, sendo que 80% pode ser encontrado a 15 cm da guia e 95% a 1 m da guia (NOVOTNY e CHESTERS, 1981).



**Figura 3.11. Acumulação de poluentes nas ruas (FONTE: NOVOTNY e CHESTERS, 1981).**

### 3.8.4. Desgaste do pavimento

Pedaços de asfalto, partículas de cimento e de qualquer outro material utilizado na pavimentação soltam-se, devido ao desgaste, e são carreados pela chuva; o material do pavimento asfáltico solta-se mais do que o pavimento de concreto. Contribuem para um maior desgaste condições meteorológicas como chuva ou gelo, derrame de combustível ou lubrificante e, também, o estado da pavimentação. Ruas em piores condições contribuem com cerca de 2,5 vezes mais material solto do que ruas em melhores condições.

### 3.8.5. Veículos

Veículos que circulam nas ruas contribuem com derrame de combustível, óleo lubrificante, fluido de freio, líquido refrigerante, partículas que se soltam com o desgaste de pneus e freios, além de ferrugem, partículas de tinta, pedaços que se soltam devido à vibração etc., embora menos de 5% (em peso) do total de poluentes que se encontram nas ruas tenha, diretamente, sua origem nos veículos, esses são os mais tóxicos e potencialmente prejudiciais à vida aquática. Assim, estão aqui incluídos derivados de petróleo, graxas, parafinas, asbestos e metais pesados. Uma descrição mais detalhada foi apresentada no capítulo 2.

### 3.8.6. Lixo

O lixo depositado nas ruas e avenidas é outra grande fonte de poluição. De forma geral, entre os principais resíduos sólidos urbanos lançados nas vias públicas incluem-se: embalagens, matéria orgânica como cascas de fruta, dejetos de animais, folhas secas, grama cortada e lixo deixado por descuido na coleta. A quantidade de lixo deixada nas ruas depende da densidade de ocupação da área, do movimento de pedestres e de veículos e, principalmente, da educação da população. Esse tipo de poluição é, facilmente, visível e acarreta danos pela obstrução de canalizações, gerando cargas significativas de matéria orgânica e bactérias.

O lixo também afeta de forma considerável os rios, lagos e demais corpos d'água. As **Figuras 3.12 e 3.13** são exemplos deste tipo de poluição.



**Figura 3. 12. Exemplo de poluição de corpos d'água por resíduos sólidos. Foto de galeria do Rio Carioca (FONTE: DIAS, 2002).**



**Figura 3. 13. Exemplo de poluição de corpos d'água por resíduos sólidos. Imagem de um canal afluente da Baía de Guanabara (FONTE: ROSSO, 2002).**

### **3.8.7. Substâncias Tóxicas**

As substâncias tóxicas mais frequentes como componentes da poluição difusa urbana são: metais pesados, pesticidas organoclorados e bifenilas policloradas, PCB's, (MARSALEK, 1986).

Os metais pesados como cádmio, cobre, cromo, chumbo, mercúrio, níquel, zinco e, ainda, arsênio, cobalto e selênio. Estes aparecem com maior frequência, e têm como fonte os veículos automotores. Entretanto, destaca-se ainda a presença dessas substâncias nas tintas, materiais galvanizados e tubulações metálicas.

Os PCB's eram usados, extensivamente, em transformadores elétricos e no isolamento de condensadores. Apesar de banidos, ainda estão presentes no ambiente, devido a sua alta persistência.

Pesticidas organoclorados são utilizados no controle de insetos e pragas, que danificam jardins e parques. Aparecem, usualmente, em pequenas quantidades, mas são tóxicos, persistentes e acumulam-se na cadeia alimentar.

Outras substâncias tóxicas estão, também, presentes e têm sua origem nos processos industriais e nos processos de combustão. Em cidades de clima frio, outros poluentes são também importantes, como aqueles usados para rápida remoção da neve através do degelo.

**Tabela 3.2 - Poluentes derivados dos veículos automotores (NOVOTNY e CHESTERS, 1981)**

<b>Poluente</b>	<b>Fonte</b>
Asbesto	Embreagem, freio
Cobre	Mancais, freio
Cromo	Galvanizados, anéis, freio
Chumbo	Óleo do motor, mancais
Níquel	Freio
Zinco	Óleo do motor, pneus
Fósforo	Aditivos para o óleo do motor
Graxas/hidrocarbonetos	Combustível, óleo lubrificante, Fluidos de sistemas hidráulicos
Borracha	Pneus

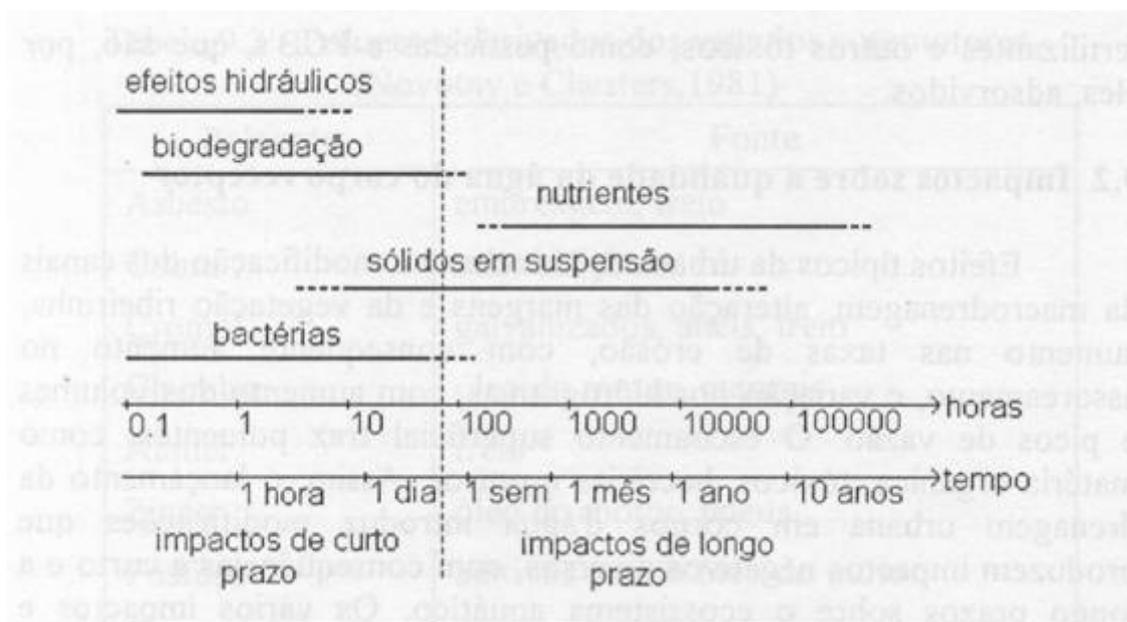
### **3.8.8.Erosão**

A urbanização leva a taxas aceleradas de erosão, principalmente nas locais onde se instalam novos empreendimentos, em abertura de novas avenidas, novos loteamentos etc. A erosão depende das características do solo, do clima, da topografia e outros. Maiores taxas de erosão significam maior arraste e, portanto, maior quantidade de sedimentos que chegará aos cursos d'água. Excesso de sedimentos é, talvez, a mais visível forma de poluição gerada de forma difusa. Como consequência, tem-se o assoreamento, ou alteração das características hidráulicas do corpo d'água, mudanças na fauna e flora aquáticas e respectivas fontes de alimento e deterioração dos aspectos estéticos do corpo d'água. O sedimento, por si só, já se constitui em poluente por afetar a vida aquática, aumentando a turbidez e diminuindo a transparência da água. Além disso, os sedimentos, especialmente a fração mais fina, são os transportadores de outros poluentes, como metais, amônia, fertilizantes e outros tóxicos, como pesticidas e PCB's, que são, por eles, adsorvidos.

## **3.9. IMPACTOS SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA DO CORPO RECEPTOR**

Efeitos típicos da urbanização incluem a modificação dos canais da macrodrenagem, alteração das margens e da vegetação ribeirinha, aumento nas taxas de erosão, com conseqüente aumento no assoreamento, e variação nos hidrogramas, com aumento dos volumes e picos de vazão. O escoamento superficial traz poluentes, como matéria orgânica, substâncias tóxicas, bactérias e outros. Assim, o lançamento da drenagem urbana em corpos d'água introduz modificações que produzem impactos negativos diversos, com conseqüências a curto e a longo prazos sobre o ecossistema aquático. Os vários impactos e respectivos prazos de atuação são mostrados na **Figura 3.14**. Mesmo quando há apenas alterações das condições físicas do canal para adequação da rede de macrodrenagem, já ocorrem sérias alterações da biota, devido a mudança dos habitats. Agrava-se essa situação com as alterações da qualidade da água, provocadas pelo lançamento da drenagem urbana alterando-se profundamente toda a estrutura do ecossistema aquático (OSBORNE e HARRIS, 1989). Existe hoje já, em algumas cidades, a visão de que a preservação da várzea natural, sem grandes alterações da morfologia dos cursos d'água e da vegetação ribeirinha, representa uma forma de controle de enchentes e, também, da qualidade da água, por ser mantida a capacidade assimilativa natural do ecossistema. Preservam-se, assim, o habitat natural das espécies e, ao mesmo tempo, a capacidade de amortecimento dos picos de cheia.

É claro que a magnitude do impacto causado pelo lançamento da drenagem urbana depende de fatores como o estado do corpo d'água antes do lançamento, sua capacidade assimilativa e, ainda, da quantidade e distribuição das chuvas, uso do solo na bacia, tipo e quantidade de poluente arrastado. Os problemas então gerados podem ser subdivididos em seis grandes categorias: alterações estéticas, depósitos de sedimentos, depleção da concentração de oxigênio dissolvido, contaminação por organismos patogênicos, eutrofização e danos devido à presença de substâncias tóxicas.



**Figura 3.14. Escala de tempo para ocorrência dos problemas causados pelo lançamento da drenagem urbana (FONTE: HVITVED-JACOBSEN, 1986).**

### 3.9.1. Alterações estéticas

O aumento da concentração de sedimentos em suspensão afeta a transparência da água, aumenta a turbidez e altera a cor e a aparência do corpo d'água. O lançamento de poluentes pode produzir odor, devido à decomposição da matéria orgânica ou presença de hidrocarbonetos, propiciar a formação de espuma e camadas finas de óleo, ou ocasionar lixo flutuando na superfície. Todas essas alterações tornam o corpo receptor pouco atraente ou mesmo repugnante, dependendo da magnitude do impacto.

### 3.9.2. Depósitos de sedimentos

O sedimento trazido pelo escoamento superficial urbano forma depósitos, que alteram o leito do corpo d'água receptor, causando problemas diversos, como diminuição da capacidade de escoamento, destruição de habitats e diminuição e alteração da população dos organismos que vivem junto ao fundo, uma vez que afeta locais de reprodução e a fonte de alimento dessas espécies. Além disso, os poluentes presentes nas águas de drenagem urbana têm afinidade com o sedimento em suspensão, haja visto que metais pesados,

poluentes orgânicos e nutrientes sofrem adsorção e aderem as partículas sólidas com menos de 100µm de diâmetro.

### **3.9.3. Depleção da concentração de oxigênio dissolvido**

O problema clássico da poluição por matéria orgânica é o consumo do oxigênio dissolvido na água pelos organismos que processam sua decomposição e, conseqüentemente, os baixos níveis de oxigênio resultantes prejudicarão peixes e organismos aquáticos sensíveis. Contribuem, para isso, a matéria orgânica e compostos sujeitos à oxidação presentes nos volumes escoados pela drenagem urbana. Outra fonte de depleção do oxigênio dissolvido na água é a ressuspensão de sedimentos no ponto do lançamento devido à erosão local. Depósitos de material orgânico ali presentes, junto com o sedimento, são, rapidamente, expostos à biodegradação, e, também, outros compostos tornam-se sujeitos à oxidação ao serem retirados das camadas anóxicas mais profundas do sedimento. A ressuspensão de sedimentos é considerada a principal forma de consumo de oxigênio, por ser mais rápida, gerando maior impacto (MANCINI e PLUXMER, 1986).

### **3.9.4. Contaminação por organismos patogênicos**

A presença de coliformes fecais no corpo receptor prejudicará seu uso para recreação, abastecimento humano, pesca e irrigação. A presença de matéria fecal, nas águas de drenagem urbana, ocorre devido a ligações clandestinas, vazamento de fossas sépticas ou dejetos de animais. Embora a contaminação indicada pela presença de organismos de origem fecal seja um impacto de curto prazo, visto que a morte dessas bactérias ocorre de forma relativamente rápida quando livres na água, sabe-se que elas são adsorvidas no sedimento. Isso resulta em taxas menores de mortalidade junto ao lodo do fundo, onde as bactérias são protegidas da ação destrutiva dos raios solares e encontram teores altos de nutrientes necessários a sua sobrevivência.

### **3.9.5. Eutrofização**

O afluxo de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, ao corpo receptor das águas de drenagem urbana provoca a fertilização do ecossistema aquático, aumentando a população de algas e vegetais aquáticos superiores, num processo denominado eutrofização. Esse processo

manifesta-se pela diminuição dos teores de oxigênio dissolvido na água, por condições anóxicas junto ao fundo do corpo d'água, episódios de mortandade de peixes e alterações estéticas, resultando em profundas alterações no balanço ecológico do corpo receptor. É um problema associado, principalmente, a lagos e estuários, devido aos respectivos altos tempos de residência, sendo um impacto de longo prazo, tanto no que se refere ao tempo necessário para que comece a afetar o ecossistema, como no tempo necessário para sua correção. O fósforo é o nutriente predominante no escoamento urbano, por estar presente nos detergentes e em aditivos para o óleo do motor, além dos fertilizantes para jardins.

### **3.9.6. Danos devido à presença de substâncias tóxicas**

Como apresentado no capítulo 2, a presença de metais pesados, pesticidas e outros tóxicos no escoamento superficial urbano é nociva aos ecossistemas aquáticos e prejudica o uso do corpos d'água receptores para abastecimento humano, irrigação e recreação. O impacto causado pela presença das substâncias tóxicas é de curto prazo quando pode ser avaliado pelos índices de mortalidade provocada após seu lançamento. Os efeitos de longo prazo são mais difíceis de serem avaliados e, usualmente, levam a danos fisiológicos que alteram crescimento e taxas de reprodução, tornando as populações mais suscetíveis a doenças e ao estresse (WANIELISTA e YOUSEF, 1993). Vários poluentes tóxicos, como PCB's, metais pesados e pesticidas, sofrem a chamada bioacumulação, ou ampliação biológica, fenômeno que leva ao aumento da concentração da substância tóxica no tecido dos organismos nos níveis mais elevados da cadeia alimentar, a ingestão desses organismos, pelo homem, pode causar graves danos à saúde. Muitas substâncias tóxicas acumulam-se no sedimento, o que pode tornar a sua permanência no ecossistema bastante longa. A toxicidade depende de vários fatores, como, por exemplo, a forma química na qual se encontra o elemento tóxico. Por exemplo, o íon cobre é muito mais tóxico do que o cobre que se encontra preso a moléculas orgânicas. A toxicidade depende, ainda, de complexas interações das substâncias tóxicas com outras características das águas superficiais, como dureza, alcalinidade, pH e concentração de oxigênio dissolvido.

## **3.10. QUANTIFICAÇÃO DAS CARGAS POLUIDORAS**

A quantificação da carga poluidora é fundamental na avaliação do impacto ambiental bem como na definição de medidas mitigadoras desses impactos. Nestes casos, os levantamentos de campo na área em estudo, incluindo amostragem dos poluentes, análises de laboratório medição de vazões são alguns dos principais pontos a serem analisados. Caso não seja possível a execução de todos estes itens, pode-se complementar com dados de literatura. Informações típicas a serem obtidas em um levantamento sanitário de uma bacia hidrográfica incluem (MOTA, 1988):

- dados físicos da bacia: aspectos geológicos, precipitação pluviométrica e escoamento, variações climáticas, temperatura, evaporação etc;
- informações sobre o comportamento hidráulico dos corpos d'água: vazões máxima, média e mínima, volumes de reservatórios, velocidades de escoamento, profundidade etc;
- uso e ocupação do solo: tipos, densidades, perspectivas de crescimento, distritos industriais etc;
- caracterização sócio-econômica: demografia, desenvolvimento econômico, etc;
- usos múltiplos das águas;
- requisitos de qualidade para o corpo d'água;
- localização, quantificação e tendência das principais fontes poluidoras;
- diagnóstico da situação atual da qualidade da água: características físicas, químicas e biológicas.

A quantificação dos poluentes deve ser apresentada em termos de carga, expressa em termos de massa por unidade de tempo, podendo ser calculada por um dos seguintes métodos, dependendo do tipo de problema, da origem do poluente e dos dados disponíveis (nos cálculos, converter as unidades para se trabalhar em unidades consistentes, ex. kg/d):

$$\text{carga} = \text{concentração} \times \text{vazão}$$

$$\text{carga} = \text{contribuição per capita} \times \text{população}$$

$$\text{carga} = \text{contribuição por unidade produzida (kg/unid produzida)} \times \text{produção (unidade produzida)}$$

$$\text{carga} = \text{contribuição por unidade de área (kg/km}^2\text{.dia)} \times \text{área (km}^2\text{)}$$

**Esgotos domésticos e industriais (equação 3.1)**

- Carga = concentração x vazão  
Concentração (g/m<sup>3</sup>) x vazão (m<sup>3</sup>/d)

$$Carga (kg/d) = \frac{\text{concentração (g/m}^3\text{)} \times \text{vazão (m}^3\text{/d)}}{1000 (g/kg)} \quad (3.1)$$

Obs: g/m<sup>3</sup> = mg/L

**Esgotos domésticos, (equação 3.2)**

- Carga = população x carga per capita

$$Carga (kg/d) = \frac{\text{população (hab)} \times \text{carga per capita (g/hab.d)}}{1000 (g/kg)} \quad (3.2)$$

**Esgotos industriais, equação 3.3)**

- Carga = contribuição por unidade produzida x produção

$$Carga (kg/d) = \text{contrib. por unid. prod. (kg/unidade)} \times \text{produção (unidade/d)} \quad (3.3)$$

**Drenagem superficial, (equação 3.4)**

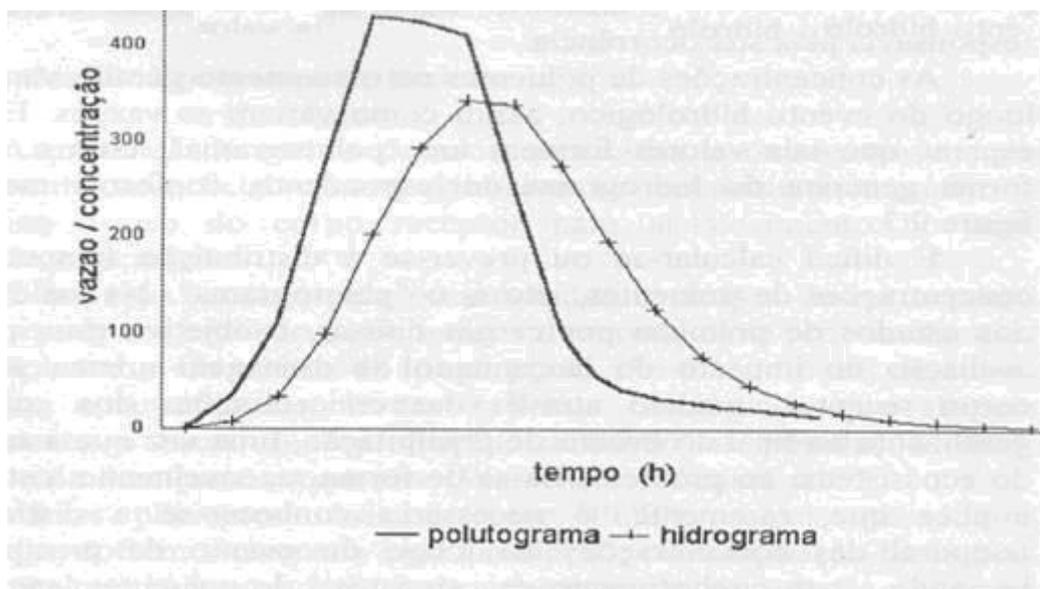
- Carga = contribuição por unidade de área x área

$$Carga (kg/d) = \text{contribuição por unidade de área (kg/km}^2\text{.d)} \times \text{área (km}^2\text{)} \quad (3.4)$$

### 3.11. AVALIAÇÃO DAS CARGAS POLUIDORAS GERADAS PELO ESCOAMENTO SUPERFICIAL URBANO

A poluição por cargas difusas é um fenômeno com origem no ciclo hidrológico. Inicia-se com o arraste dos poluentes atmosféricos pela chuva, e o escoamento superficial direto será responsável pelo transporte dos poluentes dispostos sobre a superfície da área urbana até o lançamento final no corpo receptor. A poluição por cargas difusas é um fenômeno aleatório, assim como o evento hidrológico responsável pela sua ocorrência.

As concentrações de poluentes no escoamento gerado variam ao longo do evento hidrológico, assim como variam as vazões. É de se esperar que tais valores formem um "polutograma", com a mesma forma genérica do hidrograma correspondente, conforme mostra a **Figura 3.15**.



**Figura 3.15. Hidrograma e “polutograma” respectivos de um evento de precipitação (FONTE: TUCCI *et al*, 1995)**

O cálculo ou a previsão da distribuição temporal das concentrações de poluentes, definido como *polutograma* não é uma das tarefas das mais fáceis. O que se observa na literatura especializada é que o objetivo principal é a avaliação do impacto do lançamento da drenagem urbana sobre o corpo receptor, medido através das concentrações dos poluentes geralmente ao final do evento de precipitação. Além disso, ressalta-se que a resposta destas concentrações nos ecossistemas corre de forma razoavelmente lenta. Assim, o conhecimento da carga total de poluentes lançados nos corpos receptores é informação suficiente, não sendo necessários dados detalhados quanto à distribuição temporal das concentrações ao longo do evento de precipitação, bastando ter-se conhecimento da carga total de poluentes lançada no corpo receptor. Caso seja necessário prever-se essa distribuição temporal, há que se fazer estudos detalhados, com levantamento extensivo de dados durante períodos chuvosos específicos para a bacia em questão.

Um dos fenômenos discutidos, quando se trata de prever polutogramas, é a ocorrência da chamada carga de lavagem (em inglês, *first flush*). A explicação mais comum é de que se trata da remoção inicial do material acumulado no período entre chuvas, quer sobre o solo, quer no interior das canalizações, significando que o pico do polutograma ocorreria antes do pico das vazões. Esse não é, entretanto, um fenômeno consistente, conforme mostrado em estudos europeus e nos levantamentos realizados pelo *National Urban Runoff Program*,

NURP, e em extensa coleta de dados realizada pela Environmental Protection Agency, EPA, dos Estados Unidos, em 22 cidades americanas, durante mais de 2300 eventos de precipitação em 1981 e 1982 (ELLIS, 1986; NOVOTNY, 1992).

O fato dessa carga de lavagem, às vezes, ocorrer e outras, não, pode estar relacionado a perdas iniciais no escoamento superficial. Dependendo da rugosidade e do estado de conservação do pavimento, as perdas iniciais são maiores e possibilitam a retenção de uma parte dos poluentes junto com a parcela de água assim acumulada. Dependendo, também, do volume total escoado e da altura da lâmina formada sobre as superfícies urbanas, tal perda será mais ou menos representativa. Essa pode ser uma explicação para o fato de que, na maioria dos eventos monitorados pelo NURP, não foi identificada a ocorrência da carga de lavagem (URBONAS e STAHRÉ, 1993). É mais freqüente observar-se o fenômeno da carga de lavagem em bacias pequenas do que em bacias maiores. Em grandes bacias, as concentrações de poluentes não decrescem rapidamente, à medida que o volume de escoamento aumenta, porque áreas distantes podem estar produzindo altos valores de concentração nas suas descargas iniciais, que se misturam aos valores já decrescentes dos locais próximos a seção de medição.

A verificação local da ocorrência ou não da carga de lavagem torna-se importante nos casos em que se pretende reter o escoamento superficial urbano em bacias de detenção para o controle de carga poluidora a ser lançada no corpo receptor. Caso a carga de lavagem se verifique, 80% da carga poluidora estará contida no volume inicial, correspondente a 20% do volume total. Se não houver dados locais que confirmem a ocorrência da carga de lavagem, é mais seguro admitir-se que tal fenômeno não ocorre, e o sistema de detenção terá que ser dimensionado para concentrações aproximadamente constantes ao longo de todo o evento.

Os polutogramas exibem enormes diferenças entre eventos de precipitação e, portanto, o fator Concentração Média no Evento tem sido preferido para indicar a carga poluidora total que será lançada no corpo receptor. A concentração média no evento é dada pela equação 3.5 seguinte:

$$CME = L_t / R \quad (3.5)$$

onde:

$CME$  = concentração média no evento de um dado poluente, em miligramas por litro, mg/L .

$Lt$  = carga (massa total) do poluente no evento, em miligramas, mg.

$R$  = volume total escoado no evento, em litros, L.

A carga total do poluente produzida durante um evento pode ser obtida através da coleta de diversas amostras, ao longo do tempo de duração do escoamento, juntamente com o levantamento do hidrograma. Assim, tem-se as equações 3.6. e 3.7:

$$Lt = \sum_{i=1}^n Q_i C_i \quad (3.6)$$

$$R = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (3.7)$$

onde:

$Q_i$  = ordenadas do hidrograma, L/s ;

$C_i$  = correspondentes concentrações no polutograma, mg/L

O estabelecimento da concentração média do evento como parâmetro indicador do potencial poluidor de cada evento de precipitação traz algumas vantagens, como (NOVOTNY, 1992):

- para um mesmo local, as  $CME$ 's exibem distribuição log-normal e podem ser associadas probabilidades e frequências de ocorrências;
- é um parâmetro conciso, representando um conjunto de dados muito variável;
- a comparação entre diferentes eventos e diferentes locais é mais fácil de ser feita.

Os levantamentos feitos pelo NURP não indicaram relação entre os valores  $CME$  e as regiões geográficas estudadas nas 28 diferentes cidades onde os dados foram coletados. A **Tabela 3.3** mostra o valor da mediana e o coeficiente de variação para 10 poluentes comumente encontrados no escoamento superficial. Os levantamentos feitos pelo NURP não detectaram diferenças estatisticamente significativas entre os valores  $CME$  de áreas residenciais e

comerciais, provavelmente porque as diferenças introduzidas devido à variabilidade dos diferentes eventos de precipitação superam as diferenças entre as cargas produzidas por diferentes usos do solo. Esse mesmo estudo verificou, ainda, não haver correlação entre os valores de concentração média do evento (CME) e os volumes de escoamento superficial. Essas conclusões enfatizam a necessidade da coleta local de dados para que seja possível o diagnóstico correto dos problemas de poluição causados por cargas difusas, e também, para que as decisões sobre medidas de controle tenham suporte em levantamentos e análises coerentes com a realidade local. Os valores fornecidos pelo NURP podem, apenas, ser utilizados como dados preliminares durante fases de planejamento. Os valores obtidos para áreas residenciais, comerciais e mistas são mostrados na **Tabela 3.4**.

**Tabela 3.3 Valores característicos da concentração média do evento (FONTE: URBONAS e STAHRÉ, 1993).**

Poluentes	Coefficientes de variação	CME Mediana
Sólidos totais, mg/L	1 a 2	100
DBO <sub>5,20</sub> , mg/L	0,5 a 1	9
DQO, mg/L	0,5 a 1	65
Fósforo total, mg/L	0,5 a 1	0,33
Fósforo solúvel, mg/L	0,5 a 1	0,12
Nitrogênio Kjeldahl, mg/L	0,5 a 1	1,50
NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> , mg/L	0,5 a 1	0,68
Cobre, µg/L	0,5 a 1	34
Chumbo, µg/L	0,5 a 1	144
Zinco, µg/L	0,5 a 1	160

**Tabela 3.4 - Valores de CME de acordo com o uso do solo (URBONAS e STAHRÉ, 1993).**

Poluente	Residencial		Misto			
	Mediana	CV	Mediana	CV	Mediana	CV
Sólidos em suspensão (mg/L)	101	0,96	87	11	89	0,85
DBO <sub>5,20</sub> mg/L	10	0,41		0,52	9,3	0,31

DQO, mg/L	73	0,55	65	0,58	57	0,39
P - total, mg/L	0,383	0 69	0,263	0,75	0,201	0,67
P - solúvel, mg/L	0,143	0,46	0,056	0 75	0,080	0,71
N - Kjeldahl, mg/L	1,9	0 73	1,29	0 5	1,18	0,43
NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub> , mg/L	0,736	0,83	0,558	0,67	0,572	0,48
Cobre, µg/L	0,033	0 99	0,027	13	0,029	0 81
Chumbo, µg/L	0,144	0 75	0,114	14	0,104	0 68
Zinco, µg/L	0,135	0 84	0,154	0 78	0,226	1 1

A remoção de poluentes depende do volume total escoado, ou da chuva excedente, não há sentido em se falar de tipos e modelos de chuva porque, no caso de poluição originadas por cargas difusas, o que interessa é o escoamento superficial produzido em cada evento. Dependendo das condições de umidade antecedente, um mesmo total precipitado produzirá diferentes volumes de escoamento. Além disso, a variável de interesse é o volume total escoado. Assim, uma chuva excedente de 25 mm/h, durante uma hora, removerá a mesma quantidade de poluentes do que uma chuva excedente de 50 mm/hora durante meia hora. Apresentam-se, na **Tabela 3.5**, a duração e a intensidade da chuva excedente suficientes para remover 90% do material particulado depositado sobre as superfícies impermeáveis (USEPA, 1986). A quantidade de poluentes disponível para ser arrastada por essa chuva depende do tempo anterior de acumulação.

Para cálculos expeditos da concentração média no evento para locais sem dados, podem ser, também, utilizados os resultados da **Tabela 3.6** (WANIELISTA e YOUSEF, 1993). Verifica-se, nesses valores, a influência do volume de tráfego sobre a quantidade de poluentes gerados. Influenciam, também, esses valores o tipo de pavimento e seu estado de conservação.

**Tabela 3.5 - Duração e intensidade de chuva excedente que remove 90% do material particulado depositado sobre superfícies impermeáveis (USEPA, 1986)**

Duração (min)	Intensidade (mm/h)
300	2,5
90	8,4
60	12,7

30

25

**Tabela 3.6 Valores médios de acumulação de poluentes nas ruas (WANIELISTA E YOUSEF, 1993).**

Poluentes	Cargas (kg/km de sarjeta.dia)	
	Ruas	Vias Expressas
DBO <sub>5,20</sub>	0,850	0,9
DQO	5	10
Fosfato	0,06	0,08
Nitrato	0,015	0,015
Nitrogênio total	0,150	0,2
Cromo	0,015	0,067
Cobre	0,007	0,015
Ferro	1,36	7,62
Manganês	0,026	0,134
Níquel	0,002	0,038
Chumbo	0,093	0,178
Zinco	0,023	0,070

### 3.12. MODELOS DE SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE POLUIÇÃO POR CARGAS DIFUSAS EM ÁREAS URBANAS

Estudos de alteração da qualidade da água do corpo receptor devido ao lançamento da drenagem de áreas urbanas incluem os seguintes objetivos (HUBER, 1986):

- a. caracterização do escoamento superficial urbano;
- b. análise do estado atual e comportamento do corpo receptor;
- c. dimensionamento e determinação do efeito de medidas de controle da poluição por cargas difusas de origem urbana;
- d. análise de frequência das variáveis de qualidade da água para o estudo da variação das cargas e concentrações;

- e. fornecer subsídios as análises benefício-custo das alternativas de controle a serem implantadas.

Os objetivos (a) e (b) referem-se à caracterização do problema, enquanto que os demais estão relacionados com as soluções dadas. Essa complexidade na análise dos problemas de poluição gerados por cargas difusas, e das respectivas soluções, levou à busca de ferramentas mais potentes e mais completas, chegando-se aos modelos matemáticos.

Um modelo de escoamento superficial urbano simula a resposta da bacia hidrográfica para um evento de precipitação, representando o movimento da água e os processos de transporte dos poluentes. Além de atenderem ao detalhamento requerido na avaliação de cada caso, modelos permitem a repetição da simulação para que se avaliem diversas alternativas para a solução e o gerenciamento do problema. Pode ser analisado o comportamento da bacia hidrográfica sob condições variáveis, como alterações no uso do solo, diferentes períodos sem chuva entre eventos de precipitação, eventos chuvosos de diferentes durações e intensidades etc. Assim, modelos de simulação apresentam grandes vantagens com relação ao seu uso (SANDERS III, 1976). A **Tabela 3.7** apresenta quantidades de poluentes encontrados por quilômetro de extensão nas ruas.

**Tabela 3.7 Quantidade de poluentes encontrada na superfície das ruas (FONTE: SARTOR *et al*, 1974).**

Poluente	Valor característico de acumulação nas ruas (kg/Km de guia)
Sólidos Totais	400
Sólidos Totais	400
DBO <sub>5,20</sub>	3,8
DQO	27
Sólidos Voláteis	28
Fosfato	0,31
Nitrato	0,03

Nitrogênio Kjeldahl	0,62
Zinco	0,19
Cobre	0,06
Chumbo	0,16
Níquel	0,014
Mercúrio	0,02
Cromo	0,03
Dieldrin	$7 \times 10^{-6}$
PCB	$310 \times 10^{-6}$
coliformes totais *	$62 \times 10^9$
coliformes fecais *	$3,5 \times 10^9$

\* número de organismos observados por km

O problema fica mais bem definido:

- no processo de seleção do modelo, é obrigatório que se tenha claro quais são as metas, levando os técnicos a uma melhor definição dos problemas e dos objetivos a serem atingidos, isso é particularmente verdadeiro para os problemas de poluição por cargas difusas, onde as relações causa-efeito, muitas vezes, não são claras. Tornam-se um guia para a coleta de dados;
- no processo de aplicação do modelo, torna-se claro que são necessários dados obtidos a partir de pontos de coleta de amostras e dentro de uma periodicidade que otimize o levantamento com mais economia e maior eficiência, no caso de dados de carga difusa, é possível indicar com maior precisão quais os dados mais importantes e os locais necessários;
- executam análise de dados;
- modelos podem fornecer resumos estatísticos dos valores observados das concentrações de poluentes, como médias, valores máximos e mínimos e outros; esses resumos são importantes na análise global do problema;

Podem ser analisadas situações complexas:

- A simulação é a ferramenta mais poderosa para análise dos atuais problemas ambientais, que são complexos e abrangentes.

Permitem testar situações hipotéticas:

- Como os modelos descrevem as interações entre os processos físicos, químicos e biológicos, torna-se possível avaliar novas respostas dos sistemas a situações que diferem daquelas observadas nos dados das séries históricas.
- Medidas de controle e cenários alternativos para a bacia hidrográfica, naquilo que se refere, por exemplo, ao uso do solo ou modificações no sistema de drenagem, podem ser testados, para que sejam verificadas a eficiência e a viabilidade.

Permitem examinar todo o processo de decisão:

- Todo o conjunto de procedimentos para análise do problema, desde a coleta de dados até o diagnóstico final e escolha das medidas de controle, depende de decisões que devem ser tomadas pelas partes interessadas; tais decisões podem ser avaliadas em conjunto, permitindo uma confiabilidade maior nas soluções adotadas.

Em contrapartida, os modelos de simulação têm também, limitações que não devem ser subestimadas. Por exemplo, se a base de dados é inadequada, os resultados vão ser, também, inconsistentes. Outro fator a ser considerado é que não existem modelos que sejam a representação fiel da realidade: isso significa que não há modelo que produza resultados absolutamente precisos. No caso da simulação do transporte de poluentes pelo escoamento superficial urbano, ambos os fatores adquirem importância, pelo fato dos sistemas serem complexos e pela dificuldade da aquisição de dados em quantidade e com consistência.

Existem diversos modelos de simulação do transporte de poluentes pelo escoamento superficial urbano disponíveis para aplicação, desenvolvidos por universidades, agências de governo ou entidades de pesquisa. A seleção do modelo a ser utilizado em um determinado estudo deve ter, por objetivo, buscar aquele que mais se adapte aos objetivos do estudo e, também, as condições locais, principalmente no que se refere à disponibilidade de dados.

Os modelos podem ser classificados em três categorias, de acordo com o nível de detalhamento usado na simulação (NIX, 1994). Essas três categorias e suas principais características estão mostradas na **Tabela 3.8**.

**Tabela 3.8 - Modelos de simulação do escoamento superficial urbano e dos processos de transporte de poluentes (FONTE: NIX, 1994).**

Nível	Tipo	Complexidade	Objetivo	Características
I	expedito	simples média	a Diagnóstico planejamento preliminar	e Equações, baseadas em análise estatística de dados observadas
II	simulação contínua	simples média	a Diagnóstico, planejamento. Dimensionamento preliminar de estruturas de controle, avaliação de impactos de longa duração	Uso em computador. Necessária série histórica de dados de chuva. Pode incluir propagação do hidrograma e análise do corpo receptor.
III	simulação de eventos	média a alta	Análises para projeto, planejamento detalhado.	Uso em computador. Maior precisão na simulação de todo sistema. Intervalos de tempo na simulação são pequenos

Num primeiro nível, estão os modelos mais simples, que não levam em conta a variações da vazão de escoamento e do transporte de poluentes no tempo, ao longo da duração do evento. Calculam, apenas, médias de longo período, tanto do volume escoado como da carga de poluentes transportada, sendo úteis para a identificação de áreas críticas e a sugestão de formas de controle. Estão, neste caso, os modelos SWWM-nível I (Stormwater Management Model) (HEANEY *et al.*, 1976) e algumas equações obtidas, por regressão, a partir de extensas observações. São cálculos simples, que podem ser feitos manualmente.

Num segundo nível, estão os modelos para simulação em computadores, que calculam hidrogramas de escoamento e polutogramas, em um ou vários pontos da bacia hidrográfica, e permitem a propagação das ondas nos canais e pontos de armazenamento da bacia. São, usualmente, utilizados para simulação contínua de longos períodos, com objetivos de planejamento. Fazem parte dessa categoria os modelos *Storage, Treatment, Overflow, Runoff*

*Model*, STORM, (HEC, 1977) e *Hydrological Simulation Program Fortran*, HSPF, (JOHANSON *et al.*, 1984).

Os modelos pertencentes ao nível de complexidade III são capazes de propagar, na bacia, os hidrogramas produzidos pelos eventos chuvosos através de galerias e canais, calculando os polutogramas em vários pontos da bacia hidrográfica. Podem simular períodos contínuos de tempo mas, usualmente, devido à grande quantidade de dados requeridos, são utilizados para simulação de eventos. Inclui-se, aqui, o modelo *Stormwater Management Model*, SWMM, (HUBER e DICKINSON, 1988; ROESNER *et al.*, 1988).

A seleção do modelo a ser utilizado deve obedecer aos objetivos a serem alcançados, isto é, deve ser adequada ao nível de detalhamento desejado. Nenhum modelo é perfeito, e a escolha do modelo inadequado pode causar mais erros do que se não se utilizar modelo algum. Estudos de planejamento necessitam de visão ampla da bacia e de uma avaliação de longos períodos. Já projetos de estruturas do sistema de drenagem precisam de modelos bastante detalhados. Como regra, deve sempre ser selecionado o modelo mais simples, que atenda aos objetivos desejados, já que modelos de simulação do escoamento superficial urbano requerem quantidades grandes de dados de entrada.

Os modelos de simulação devem ser calibrados e verificados para que se constate a exatidão e a precisão dos resultados. Isso significa que os parâmetros do modelo devem ser ajustados de modo que os valores calculados pelo modelo reproduzem aqueles observados no protótipo. Os modelos aqui descritos reproduzem, com relativa facilidade de calibração, os volumes escoados num evento de precipitação. Quanto às cargas de poluentes transportadas, no entanto, o esforço necessário para calibração é muito maior. Isso se verifica porque os modelos são bastante sensíveis com relação à quantidade de poluentes acumulada entre eventos chuvosos e com as quantidades arrastadas pelo escoamento. A adoção de valores sugeridos na literatura precisa ser feita com muita cautela, sendo sempre preferível a utilização de valores levantados localmente. Quantidades grandes de dados de qualidade da água do escoamento superficial, da acumulação de poluentes nas ruas e do estado e comportamento do corpo receptor são necessárias para a utilização de modelos mais complexos. Por isso, a cautela a ser adotada quando da escolha de modelos mais complexos, uma vez que a coleta de dados será responsável por uma boa parte dos custos e do prazo de um estudo que utilize modelagem (NIX, 1994).

Há outros modelos e métodos de quantificação e previsão da qualidade das águas de escoamento superficial em vias urbanas e rurais, que são muito importantes para o

trabalho na área de gestão e avaliação de impactos ambientais, o que reitera a necessidade de se ter conhecimento destes modelos.

Entre os recentes estudos europeus, relatados na literatura sobre avaliação qualitativa e quantitativa das águas de escoamento superficial pluvial urbano, os potenciais impactos ambientais e alterações ocasionadas nas características das águas nos corpos hídricos receptores, que prejudicam seus legítimos usos, assim como as medidas mitigadoras para atenuar os efeitos deletérios de águas impuras decorrentes do escoamento superficial principalmente o urbano, cita-se alguns desses modelos.

Destacam-se, entre outros, os modelos FLUPOL (1985) e MOSQUITO (1987) abordados no trabalho francês intitulado “Depolluer Les Eaux Pluviales” de JEAN-DOMINIQUE DESCHAMPS 1996, e o trabalho português publicado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) intitulado “Características de Águas de Escorrência de Estradas e Minimização dos Seus Impactes”, de BARBOSA *et al.* (2003) que referencia as metodologias aplicadas pela Federal Highway Administration - FHWA (1996) USA, como metodologias de previsão das características das águas de escoamentos pluviais de estradas, que por sua vez fundamentaram-se na metodologia de DRISCOLL *et al* (1990) e na metodologia de DRIVER e TASKER (1990). Que foram utilizadas, com alterações peculiares e adaptadas para o estudo de caso português.

As metodologias de previsões das características das águas de escoamentos pluviais de estradas, em geral, não devem ser aplicadas diretamente a outras regiões ou países, pois é sempre necessário considerar os levantamentos específicos feitos por estudos locais, para se ter uma visão mais apurada das variáveis envolvendo as condições de intempéries e também daquelas oriundas de ações antrópicas regionais, que estão contidas nestes modelos. Desse modo faz-se as adaptações necessárias e aplica-se aquela localidade em particular.

## **CAPÍTULO 4. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

### **4.1. REGIÃO METROPOLITANA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

A Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, RMRJ, é uma das mais populosas do país. Congrega 20 municípios e ocupa 14,9% da área total do Estado, concentrando-se em uma superfície de pouco menos de 6.500 km<sup>2</sup>. Possui uma população de 11 milhões de pessoas, cerca de 80% do Estado, dos quais 60% vivem no município do Rio de Janeiro.

Das regiões metropolitanas existentes no país, a do Rio de Janeiro é a que apresenta a maior densidade demográfica, aproximadamente 1.700 hab/km<sup>2</sup>, e é a de maior grau de urbanização, 96,8%, responsável pela geração de cerca de 80% da renda interna do Estado e de 13% da nacional.

Na RMRJ encontra-se a segunda maior concentração de população, de veículos, de indústrias e de fontes emissoras de poluentes do país, gerando sérios problemas de poluição do ar.

Os maciços da Tijuca e da Pedra Branca, paralelos à orla marítima, atuam como barreira física aos ventos predominantes do mar, não permitindo a ventilação adequada das áreas situadas mais para o interior.

Além desses fatores, deve ser considerado ainda que a região está sujeita às características do clima tropical, com intensa radiação solar e temperaturas elevadas, favorecendo os processos fotoquímicos e outras reações na atmosfera, com geração de poluentes secundários.

### **4.2. A LAGOA RODRIGO DE FREITAS**

#### **4.2.1. Caracterização e localização**

A Lagoa Rodrigo de Freitas é, sem dúvida alguma, um dos mais belos panoramas da cidade do Rio de Janeiro, desde o início de sua ocupação até os dias atuais,

conforme pode ser observado pelas **Figuras 4.1a e 4.1b**, e **4.2a e 4.2b**, (D'ALCANTARA, 2003).

A bacia hidrográfica da área de influência da lagoa Rodrigo de Freitas é entorno de 32 km<sup>2</sup>, incluída a Lagoa, com pode ser observado na **Figura 4.3**, localizada na zona sul do município do Rio de Janeiro, delimitada ao norte pela serra da Carioca e ao sul pelo oceano Atlântico, é formada basicamente pelos rios Cabeças, Macacos e Rainha. Essas bacias são relativamente pequenas e homogêneas, possuindo dois trechos bem característicos. O trecho superior com forte declividade e vegetação densa, e o trecho final bastante plano e densamente urbanizado, o que explica a freqüente ocorrência de inundações. O uso do solo predominante é o residencial, abrigando os bairros de Ipanema, Leblon, Gávea, Jardim Botânico e Lagoa, todos com alta densidade populacional e poder aquisitivo acima da média carioca. Abriga, também, as favelas da Rocinha e Vidigal, entre outras. Considera-se que a área possui os melhores equipamentos de infra-estrutura do município.



**Figuras 4.1a e 4.1b. Vistas antigas da Lagoa Rodrigo de Freitas (FONTE: DIAS, 2002).**



**Figura 4.2a e 4.2b. Vistas da Lagoa Rodrigo de Freitas (FONTE: ROSSO, 2002).**

A região possui um grande apelo turístico, tanto nacional quanto internacionalmente, devido, principalmente, à beleza do conjunto formado pelas praias de Ipanema-Leblon, lagoa Rodrigo de Freitas e as escarpas da serra da Carioca, o que explica os expressivos setores de comércio e prestação de serviços, importantes fontes de arrecadação do município.



**Figura 4.3. Vista da bacia hidrográfica da Lagoa Rodrigo de Freitas (FONTE: IPP, 1998).**

É cortada por importantes vias de tráfego, que fazem a ligação dos bairros da zona sul, zona oeste e centro da cidade, com fluxo diário bastante intenso. Como estas ruas se localizam em área de baixada, em dia de chuvas intensas, as vias de acesso ficam profundamente prejudicadas, devido à ocorrência de alagamentos.

A lagoa Rodrigo de Freitas possui um perímetro de 7,8 km, espelho d'água de 2,2 km<sup>2</sup>, com profundidade média da ordem de 2,80 metros e máxima em torno de 4,0 metros, com volume de aproximadamente 6.200.000 m<sup>3</sup>. A lagoa é ligada ao mar pelo canal do Jardim de Alah, com 800 metros de comprimento, largura variando entre 10 e 18 metros e a cota de fundo de -0,70 metros. Este canal tem a finalidade de promover a renovação das águas da lagoa e servir de extravasamento nos períodos de chuvas fortes.

#### **4.2.2. Batimetria**

A **Figura 4.4** apresenta a distribuição das profundidades encontradas na lagoa, cuja variação das profundidades existentes observa-se no gradiente de cores azuis, sendo a região marcada com azul escuro a parte mais profunda.

#### 4.2.3. Rios contribuintes à bacia hidrográfica

Conforme mencionado, a bacia hidrográfica da Lagoa Rodrigo de Freitas é composta pelos rios Cabeças, Macacos e Rainha, mais detalhes são descritos a seguir.

O rio Cabeças possui área de drenagem de aproximadamente 1,9 km<sup>2</sup>, drenando área do Jardim Botânico. Nasce nos contrafortes do morro do Corcovado com cotas de 520 metros, e deságua no canal da Avenida Lineu de Paula Machado que, por sua vez, desemboca no rio dos Macacos, no trecho da rua General Garzon.



**Figura 4.4. Vista da batimetria da Lagoa Rodrigo de Freitas (FONTE: AMBIENTAL, ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA, 2001).**

O rio dos Macacos drena os bairros do Alto da Boa Vista, Horto e Jardim Botânico, com área de drenagem em torno de 7,2 km<sup>2</sup>. Nasce nos contrafortes dos morros dos Queimados e Sumaré, em cotas de aproximadamente 520 metros, sendo desviado em seu trecho final, na rua General Garzon, para o canal do Jockey.

O rio Rainha nasce na encosta sul da serra da Carioca, com cotas de 680 metros, drena o bairro da Gávea e desemboca no canal da Avenida Visconde de Albuquerque. A área de drenagem do rio Rainha é de aproximadamente 4,3 km<sup>2</sup>. A **Tabela 4.1** apresenta as vazões Q<sub>10</sub> e Q<sub>20</sub> dos três rios (SERLA, 2003).

Em termos de enquadramento<sup>2</sup> as águas da bacia da L.R.F. são enquadradas pelas diretrizes 115 e 116 da FEEMA, a **Tabela 4.2** apresenta o enquadramento das águas da Lagoa e a **Tabela 4.3** o enquadramento dos rios e canais contribuintes da bacia.

**Tabela 4.1. Vazões Q<sub>10</sub> e Q<sub>20</sub> dos rios contribuintes à Lagoa Rodrigo de Freitas.**

Rio	Vazão (Q <sub>10</sub> )	estimada	Vazão (Q <sub>20</sub> )	estimada
Rainha	25,0 m <sup>3</sup> /s		29,2 m <sup>3</sup> /s	
Macacos	47,7 m <sup>3</sup> /s		56,6 m <sup>3</sup> /s	
Cabeças	13,8 m <sup>3</sup> /s		16,4 m <sup>3</sup> /s	

**Tabela 4.2. Enquadramento das águas da Lagoa Rodrigo de Freitas.**

Usos benéficos da água	Classificação
Abastecimento público	(uso I) Não usa
Recreação	(uso II) Contato secundário
Preservação de fauna e flora	(uso III) Fauna e flora naturais e estético
Atividades agro-pastoris	Não usa

Fonte: DZ 115.da FEEMA

<sup>2</sup> Enquadramento, Segundo DZ 116, a) Uso I ; b) Uso II ; c) Uso III <sup>2</sup> Com filtração lenta e desinfecção

**Tabela 4.3. Enquadramento das águas dos rios e canais constituintes da Lagoa Rodrigo de Freitas.**

<b>Usos benéficos da água</b>	<b>Classificação</b>
Rainha	Usos I e III
Cabeças (até a captação da CEDAE) <sup>3</sup>	Usos I, II e III
Cabeças (trecho final)	Usos II e III
Macacos (até cruzamento com a Rua Pacheco Leão)	Usos I, II e III
Macacos (trecho final)	Usos II e III
Canal do Jardim de Alah	Usos II e III
Canal do Leblon	Uso III

Fonte: DZ 116<sup>1</sup> da FEEMA

Em termos gerais, é possível observar que a Lagoa Rodrigo de Freitas vem ao longo das últimas décadas, sendo usada para os mais diversos usos, notadamente para pesca artesanal, fins recreativos, atividades náuticas, turísticas e lazer contemplativo, conforme exemplificado pelas imagens das **Figuras 4.6a e 4.6b**.



**Figuras 4.6a e 4.6b. Exemplos dos usos múltiplos da Lagoa Rodrigo de Freitas (FONTE: ROSSO, 2002).**

<sup>3</sup> CEDAE – Companhia de Água e Esgotos do Estado do Rio de Janeiro.

#### 4.2.4. Dados populacionais

Em termos populacionais, a bacia de contribuição da Lagoa Rodrigo de Freitas está, politicamente, situada em sua maior parte na VI Região Administrativa do Município do Rio de Janeiro e abrange os bairros de Ipanema, Leblon, Lagoa Jardim Botânico e Gávea. A exceção é a região situada no entorno da Rua Humaitá, pertencente à IV Região Administrativa. Os censos demográficos realizados pelo IBGE (2000) entre o período de 1970 a 2000, apresentam um crescimento populacional da região até 1980 e a partir daí um esvaziamento da região, sendo verificado um crescimento constante somente nas áreas de ocupação irregular (favelas) conforme apresentado na **Tabela 4.4**.

**Tabela 4.4. População residente das VI e XXVII Regiões Administrativas (RA) por bairro. (FONTE: IBGE, 2000)**

	<b>Censo 1970</b>	<b>Censo 1980</b>	<b>Censo 1991</b>	<b>Censo 2000</b>
<b>VI RA - Lagoa</b>	<b>175.586</b>	<b>239.363</b>	<b>177.072</b>	<b>174.062</b>
Ipanema	-	63.602	48.245	46.808
Leblon	-	62.871	49.930	46.670
Lagoa	-	23.815	18.652	18.675
Jardim Botânico	-	21.084	19.434	19.560
Gávea <sup>(1)</sup>	-	49.774	15.350	17.475
São Conrado	-	8.421	13.591	11.155
Vidigal	-	9.696	11.870	13.719
<b>XXVII RA - Rocinha</b>	-	-	<b>42.892</b>	<b>56.338</b>
Rocinha	-	-	42.892	56.338
<b>Total Geral</b>	<b>175.586</b>	<b>239.363</b>	<b>219.964</b>	<b>230.400</b>

(1) – A área da Rocinha era considerada no Bairro da Gávea até o censo do ano de 1980, sendo desmembrada com a criação da XXVII RA.

#### 4.2.5. Dados ambientais

O clima da região é tropical com temperatura média absoluta em torno de 35°C no verão é de 18°C no inverno. A pluviosidade média anual é de 1.925 mm, sendo que no período de setembro e maio as precipitações mensais ultrapassam os 140 mm enquanto que no

período seco, que vai de junho a agosto, a precipitação média mensal é de 115 mm (AMBIENTAL, 2001). Detalhes das características climáticas, qualidade das águas, incluindo os parâmetros influentes: temperatura, salinidade, pH, turbidez, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, material particulado em suspensão, nutrientes inorgânicos (amônia, nitrogênio total e fósforo total) podem ser vistos detalhadamente em D'ALCANTARA (2003).

#### **4.2.6. Principais problemas**

Entre os principais problemas ambientais apresentados na lagoa, destacam-se os aterros realizados ao longo do seu entorno e os problemas relacionados as interconexões e lançamentos clandestinos de efluentes domésticos em suas águas, conforme apresentado por D'ALCANTARA (2003).

As alterações de contorno foram observadas a partir da primeira metade do século XX quando ocorreram grandes transformações urbanas no entorno da Lagoa inclusive em sua lâmina d'água. A expansão urbana vinda desde o bairro de Copacabana chegava agora aos bairros de Ipanema e Leblon, pelo outro lado, na região da Gávea e Jardim Botânico a expansão se processava através de aterros nas áreas ribeirinhas, onde a profundidade era baixa e a inundação era presente somente nas épocas de cheias. Foram então sendo modificados os contornos da lagoa, com a implantação do Hipódromo da Gávea, do Clube de Regatas do Flamengo e das ilhas do Piraquê e dos Caiçaras. Neste período estima-se que foram retirados cerca de 1,5 milhões de m<sup>2</sup> da superfície da Lagoa. As **Figuras 4.5 e 4.6** apresentam detalhes das modificações do contorno da lagoa.

Nos sistemas de esgotamento, verifica-se que a Lagoa Rodrigo de Freitas possui uma série de problemas como, por exemplo, o extravasamento dos esgotos sanitários, de forma acidental ou por intermédio das ligações clandestinas às galerias pluviais concorrentes à lagoa, associados a outros tipos de despejos (efluentes de Postos de Serviços de Combustíveis e lançamento de materiais utilizados para a limpeza das cocheiras do Jockey Club do Brasil, entre outros), são os principais responsáveis pela contaminação de suas águas (ver **Figuras 4.7**).

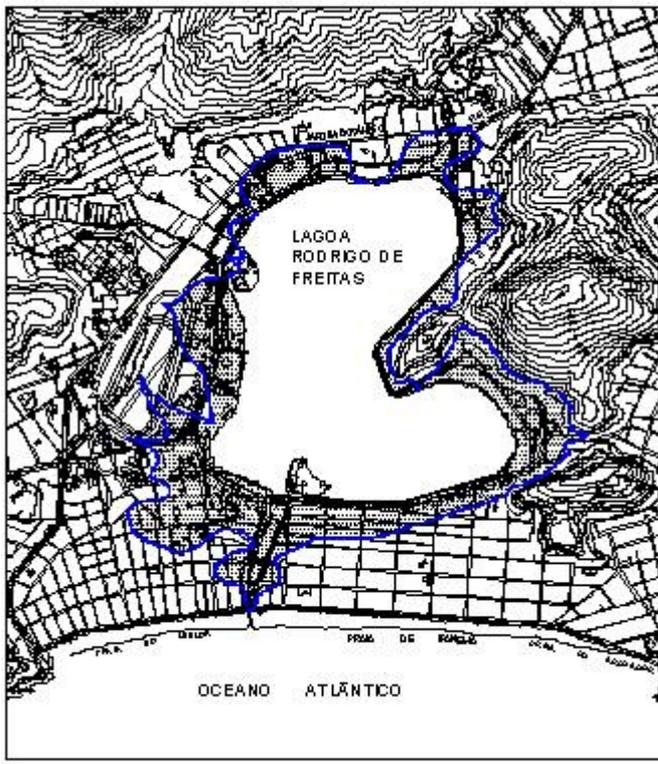


Figura 4.5. Comparação entre as áreas do espelho d'água da Lagoa Rodrigo de Freitas entre 1870 e 2001 (FONTE: AMBIENTAL, 2001).

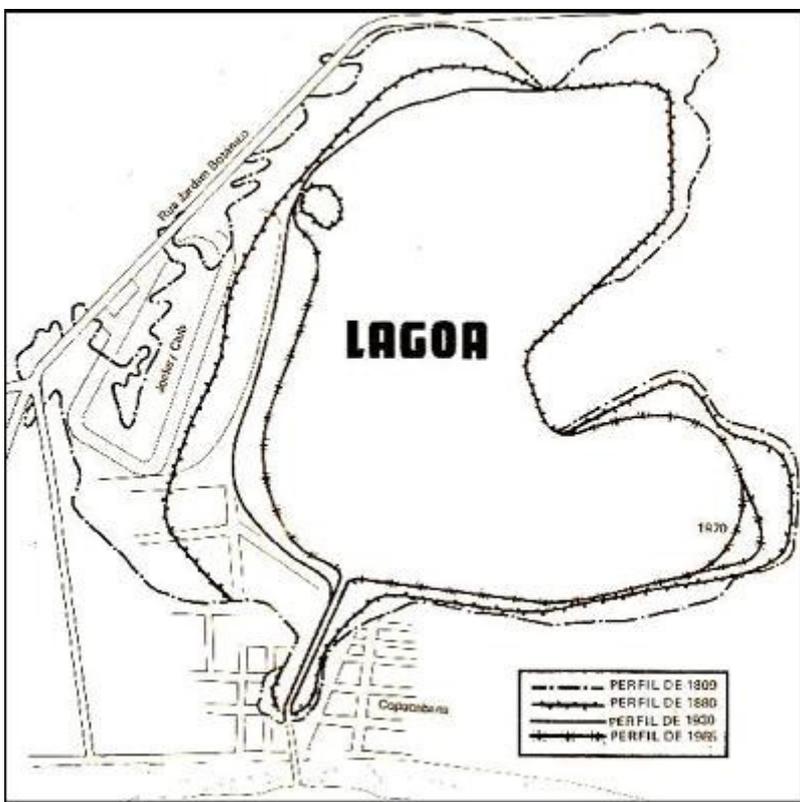


Figura 4.6. Delimitação das margens da Lagoa Rodrigo de Freitas desde 1809, realizada por Breno Marcondes Silva (FONTE: O Jornal, 01 de maio de 1973).



**Figuras 4.7. Exemplos de lançamentos clandestinos de efluentes na Lagoa Rodrigo de Freitas (FONTE: ROSSO, 2002).**

A pequena profundidade média e o constante assoreamento, com toda sorte de poluentes, ocasionam alterações na qualidade físico-química e biológica de suas águas diminuindo consideravelmente a concentração de oxigênio dissolvido, sendo uma das causas da mortandade de peixes. Conseqüências mais drásticas podem ser observadas no verão com o aumento da temperatura de suas águas. Esse fato ocorre tanto em pequenas quantidades, pontualmente como um sintoma, ou em grandes quantidades como um reflexo de sua fragilidade ambiental. Exemplos desse fato podem ser vistos nas **Figuras 4.8**, que ilustram a mortandade de peixes ocorrida em fevereiro de 2002.

As causas da diminuição da concentração de oxigênio dissolvido na lagoa, que proporciona a mortandade de peixes, são complexas, mas podem ser destacados alguns fatores intervenientes relevantes. A intervenção humana através do lançamento de esgotos é, sem dúvida nenhuma, o mais óbvio e indiscutível, uma vez que a carga orgânica lançada na lagoa por si só acelera as reações aeróbias que consomem oxigênio. Além dos fatores antropogênicos, porém, merecem também destaque fatores naturais, que são agravados pela ação antrópica. A proliferação excessiva de microalgas é um exemplo desses fatores naturais, que atua tanto através do consumo de oxigênio pelas algas no período noturno, quanto pela reação aeróbia de degradação da população que morre após a intensa proliferação, e é fortemente acentuado pela presença de matéria orgânica originária do esgoto doméstico (AMBIENTAL, 2001). O aumento da temperatura da água é outro fator natural que acentua o problema de qualidade das águas, uma vez que o limite de saturação de gases na água é inversamente proporcional à temperatura e, portanto, quanto maior a temperatura, menor a concentração máxima de oxigênio que a água consegue manter dissolvido (ESTEVES, 1988).



**Figura 4.8.** Fotos da mortandade de peixes em Fevereiro de 2002, quando foram retiradas cerca de 90 toneladas de peixes (FONTE: ROSSO, 2002).

Outro processo que proporciona o consumo excessivo de oxigênio na lagoa é a disponibilização para a coluna d'água do material presente no fundo da lagoa, composto de matéria orgânica e sedimentos finos, usualmente denominado lodo ativo. Este material é originário da drenagem da bacia hidrográfica, dos próprios organismos que habitam a lagoa e pelo lançamento clandestino de esgotos domésticos. Como as camadas mais profundas da lagoa se encontram freqüentemente sob condições anóxicas, a matéria orgânica depositada no fundo não sofre decomposição aeróbia e fica sujeita a processos anaeróbios, que promovem uma degradação muito mais lenta e, dessa forma, é comum a presença de matéria orgânica em altas concentrações nessas regiões. No sentido de diminuir os impactos causados pela ressuspensão do lodo ativo presente no fundo da lagoa, está sendo realizada a dragagem de uma grande quantidade desse material, o que deve reduzir os efeitos desse processo na diminuição de oxigênio dissolvido na lagoa. No entanto, os processos responsáveis pela formação do lodo não serão interrompidos e mais cedo ou mais tarde, o lodo ativo estará novamente presente em quantidades nocivas (KAIPPERT, 2004).

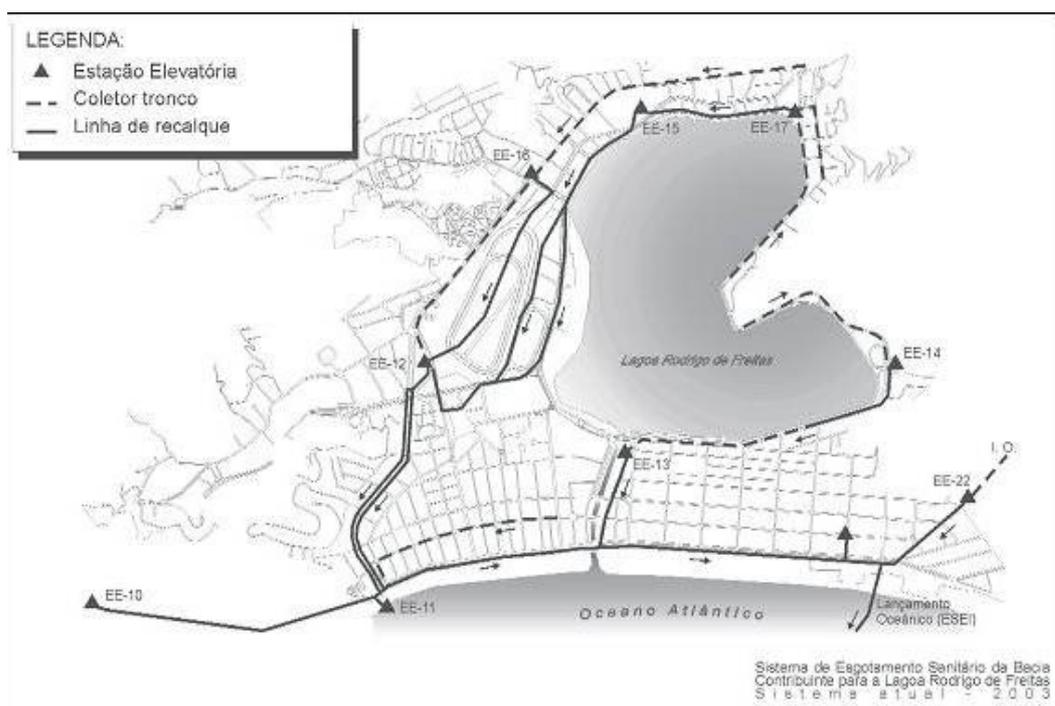
#### **4.2.7. Sistemas de esgotamento sanitário da Lagoa Rodrigo de Freitas**

Como os primeiros sistemas de esgotamento adotados na época do Brasil Império, o sistema de esgotamento da Lagoa Rodrigo de Freitas foi do tipo separador parcial, contando com dois sistemas: um recebendo as águas pluviais e o outro os esgotos sanitários e as águas

pluviais provenientes de terraços e áreas internas das edificações. Em 1 de janeiro de 1913, o Governo do Estado determinou a obrigatoriedade da adoção do sistema separador absoluto tanto para as novas edificações como para a reconstrução daqueles que já possuísem instalações sanitárias ligadas à rede pública (ROSSO e CIRILO, 2003). Dessa forma, a região da lagoa passa a ser esgotada pelo sistema separador absoluto, utilizando redes coletoras independentes para esgotos sanitários e águas pluviais. As galerias de águas pluviais contribuem para os diversos corpos d'água que compõem a bacia, incluindo os rios Macacos, Cabeças e Rainha, os canais do Jardim de Alah e Visconde de Albuquerque e a própria Lagoa. A rede de esgotos sanitários foi implementada no início do século passado, constituída por galerias construídas em 1894, sendo composta por diversas bacias e sub-bacias, interligadas por um complexo sistema de elevatórias, tendo como destino final o Sistema de Disposição Oceânica de Ipanema (Emissário Submarino de Ipanema, ESEI), (D'ALCANTARA, 2003).

O sistema de esgotamento sanitário atual (ver **Figura 4.9**) atende praticamente toda a região contribuinte à bacia da LRF com rede coletora, principalmente as constituídas pelas áreas formais, considerando os bairros de Ipanema, Leblon, Gávea, Jardim Botânico, Lagoa e uma pequena parte de Humaitá. O complexo sistema de elevatórias e destino final no ESEI continua mantido. Cada estação elevatória possui em sua área de influência uma região atendida por rede coletora, denominada como sub-bacia da elevatória em referência, por exemplo, bacia contribuinte à Elevatória Cantagalo: sub-bacia Cantagalo.

Uma das principais características operacional deste sistema é a sua atuação em série, com as linhas de recalque de uma elevatória lançando os esgotos em outra, até o lançamento no emissário terrestre, situado na Av. Delfim Moreira e Vieira Souto, que transporta os esgotos até a Caixa de Confluência do Emissário Submarino. Dessa maneira, o sistema se divide em duas vertentes, que pode-se denominar vertente leste, com as sub-bacias de Cantagalo e Caiçaras; e vertente oeste, com as sub-bacias de José Mariano, Hípica, Jardim Botânico e Saturnino de Brito. As outras duas sub-bacias, do Leblon e da Farma de Amoedo, atuam independentes, lançando seus esgotos diretamente no emissário terrestre. O sistema apresenta as estações elevatórias listadas a seguir:



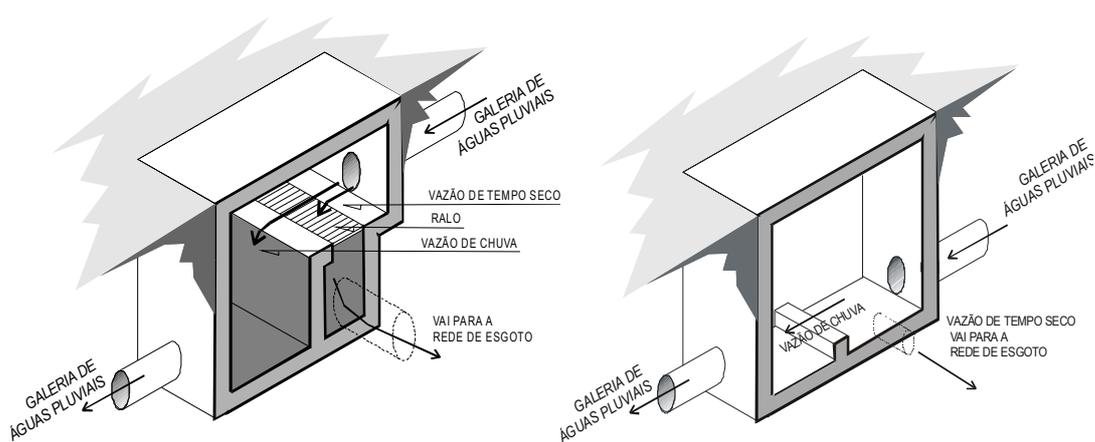
Figura

#### 4.9. Sistema de Esgotamento Sanitário da Bacia Contribuinte a LRF em operação após 1975 até os dias atuais.

- EE-11 – Estação Elevatória do Leblon – Situada no fim da praia do Leblon e início da Av. Niemeyer, recebe os esgotos de parte do Leblon, estando capacitada para receber os esgotos de todo o sistema Zona Sul no caso de uma operação de emergência. Recalca seus esgotos para a caixa de carga inicial do emissário terrestre;
- EE-12 – Estação Elevatória Saturnino de Brito – Situada na Rua Bartolomeu Mitre, substituiu a antiga elevatória do Jardim. É o ponto de concentração de grande parte dos esgotos da Gávea, Jardim Botânico e Leblon e ainda recebe as contribuições das elevatórias da Hípica e Jardim Botânico. Recalca os esgotos diretamente para o emissário terrestre;
- EE-13 – Estação Elevatória Caiçaras – Situada junto ao Jardim de Alah, recebe a contribuição de parte de Ipanema e ainda os esgotos provenientes da Elevatória Cantagalo (EE-14);
- EE-14 – Estação Elevatória Cantagalo – Situada em praça próxima ao Corte do Cantagalo, recebe a contribuição dos esgotos da região adjacente e os recalca para a sub-bacia Caiçaras;
- EE-15 – Estação Elevatória Hípica – Situada junto ao muro da Hípica, na rua Lineo de Paula Machado, recebe os esgotos da sub-bacia local e ainda os provenientes da Elevatória José Mariano;

- EE-16 – Estação Elevatória Jardim Botânico – Situada na esquina das ruas Pacheco Leão e Jardim Botânico, recebe a contribuição da região situada ao longo da rua Pacheco Leão e recalca seus esgotos para a Elevatória Saturnino de Brito;
- EE-17 – Estação Elevatória José Mariano – Situada na saída do Túnel Rebouças, recebe a contribuição de parte do Humaitá, Jardim Botânico e da Fonte da Saudade. Recalca seus esgotos até a Elevatória da Hípica;
- EE-21 – Estação Elevatória Farme de Amoedo – Situada na esquina das ruas Prudente de Moraes e Farme de Amoedo, e recebe contribuição de parte de Ipanema, lançando os esgotos diretamente no emissário terrestre, na Av. Vieira Souto.

Outra característica importante no sistema de esgotamento da Lagoa é a captação de tempo seco (CTS) foi descrita pela Auditoria Ambiental da Rede Coletora da Bacia Contribuinte da Lagoa e Bacia do Rio Rainha (CONSÓRCIO COPPETEC/LOGOS, 2001), como elemento atípico do sistema de esgotamento sanitário. Esta captação é executada geralmente próxima as áreas de ocupação sub-normal (favelas) visando coletar as contribuições indevidamente lançadas no sistema de águas pluviais. Podem ser de dois tipos, conforme visto nas **Figuras 4.10a e 4.10b**, a mais comum, do tipo II, estão inseridas nas galerias de águas pluviais, possuindo uma pequena barragem que, em tempo seco, são utilizadas para desviar as vazões provenientes de ligações clandestinas de esgotos sanitários no sistema de drenagem para o sistema de coleta. Quando acontece a chuva, a lâmina líquida ultrapassa a barragem seguindo pela galeria.



**Figuras 4.10a. e 4.10b. Captação de Tempo Seco (CTS) Tipo I e Tipo II. (FONTE: D'ALCANTARA, 2003).**

### 4.3. O TÚNEL REBOUÇAS

O Túnel Rebouças foi inaugurado em 3 de setembro de 1967 ligando as Zonas Norte e Sul da cidade do Rio de Janeiro, à época, capital do país, pelo então Governador do Estado da Guanabara, Ilmo. Sr. Negrão Lima. Seu projeto original compreendia em duas faixas de rolamento e acostamento, dividido em duas galerias, sendo uma com 2.040 metros contínua da Lagoa até o bairro Cosme Velho e outra de 800 metros com tráfego direcionado do bairro Cosme Velho até o bairro Rio Comprido, totalizando assim 2.840 metros. Sua localização e esquema do seu eixo viário podem ser vistos nas **Figuras 4.12 e 4.13**, respectivamente.

Projetado para um volume médio de tráfego de 76 mil veículos/dia, possui atualmente um volume de tráfego médio diário é de 180 mil veículos e o acostamento foi transformado em faixa de rolamento.

Desde a sua inauguração até novembro de 1994 o túnel esteve sob a jurisdição da Fundação do Departamento de Estradas e Rodagem do Estado do Rio de Janeiro, Fundação DER/RJ. Em 1994, o então Governador do Rio de Janeiro, Ilmo. Sr. Nilo Batista, publicou um decreto no Diário Oficial, passando o "Sistema Rebouças" para a jurisdição do município do Rio de Janeiro. A partir do mês de dezembro de 1994, a administração do Rebouças passou a ser feita em co-gestão entre a Prefeitura e a FUNDERJ, sendo que após o mês de janeiro de 1995 passou a ser feita exclusivamente pela Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Atualmente a Coordenadoria de Vias Especiais da Secretaria Municipal de Transportes é responsável pelo Sistema Viário Lagoa/São Cristóvão, onde está localizado o túnel. A **Figura 4.14** apresenta um esquema do túnel com suas galerias. Na figura, as siglas L e R com numeral "1" indicam o sentido de tráfego, no caso Jardim Botânico – Rio Comprido, este lado é denominado Túnel André Rebouças e as mesmas siglas L e R acompanhadas do numeral "2" indicam o sentido inverso, é denominado Túnel Antônio Rebouças. A sigla "L" corresponde ao primeiro trecho do túnel (que liga o Jardim Botânico ao Cosme Velho Rio Comprido) e a sigla "R" corresponde ao segundo trecho (que liga o Cosme Velho ao Rio Comprido).

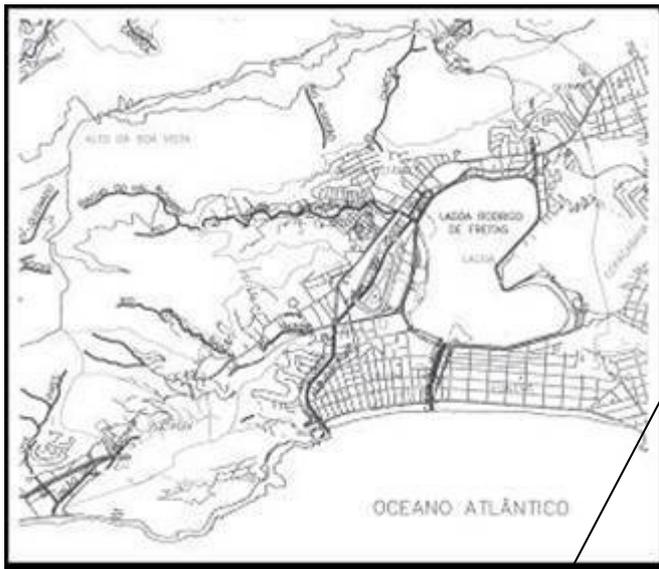
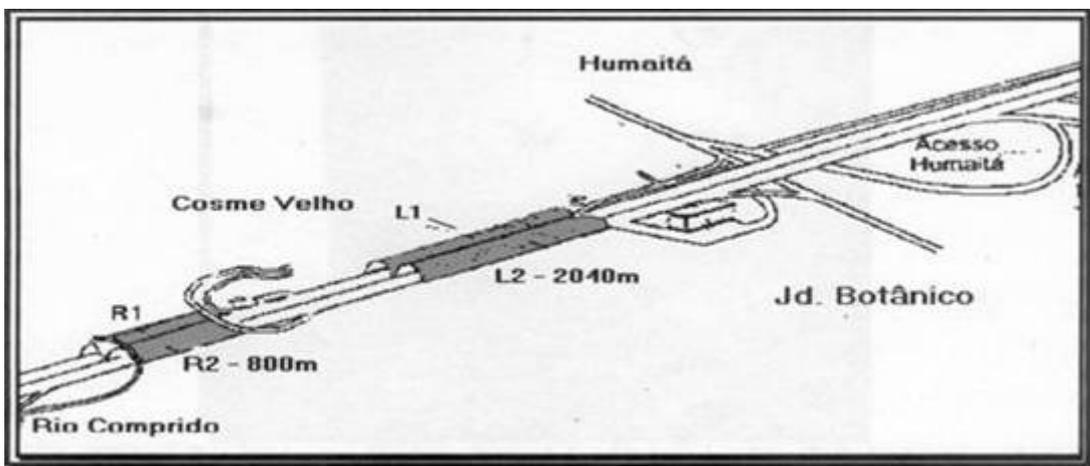


Figura 4.12. Localização do Túnel Rebouças.



Figura 4.13. Eixo viário do Túnel Rebouças.



**Figura 4.14. Esquema do Túnel Rebouças. R1 e L1, galerias no sentido Jardim Botânico - Rio Comprido. R2 e L2 galerias no sentido inverso.**

No tocante ao tráfego de veículos, atualmente, o controle é feito “on line”, durante o período de 24 horas ininterruptas. A contagem de veículos é feita eletronicamente e os dados são registrados e armazenados em meio magnético, para posteriormente serem emitidos através de relatórios mensais.

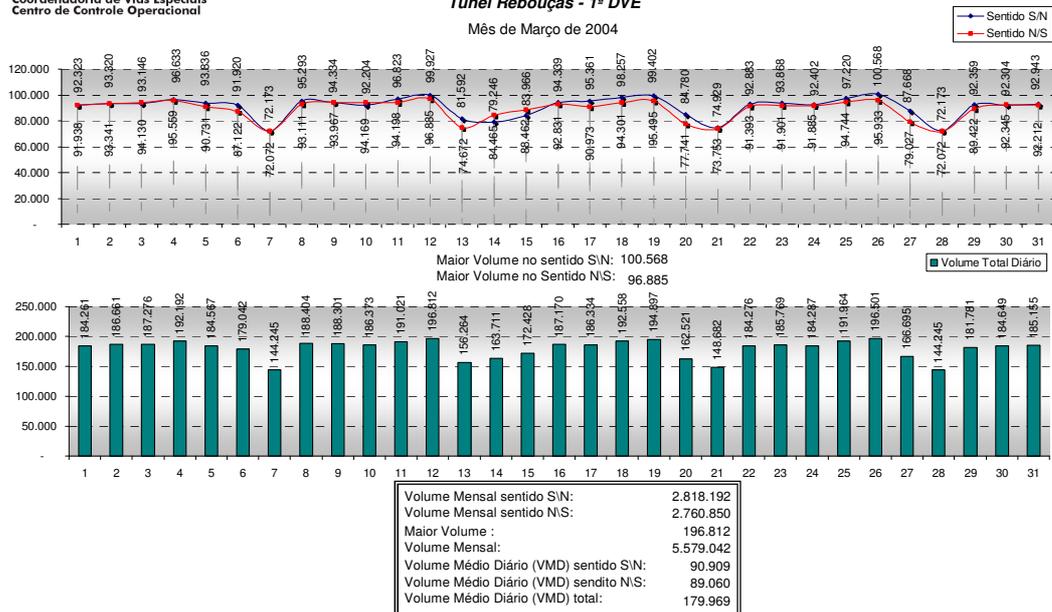
A **Tabela 4.5** mostra, como exemplo, a contagem feita no mês de abril de 2004, sentido norte-sul. Os gráficos apresentados nas **Figuras 4.15, 4.16, 4.17 e 4.18** apresentam o Resumo Mensal do volume de tráfego do Túnel Rebouças para os meses de março, maio, junho e julho, respectivamente. Vale lembrar que estes resultados foram utilizados nos cálculos para obtenção da concentração de poluentes, conforme poderá ser verificado no capítulo 6.

**Tabela 4.5. Contagem realizada no mês de abril de 2004, sentido norte-sul.**

<b>Dia</b>	<b>Sentido S/N</b>	<b>Sentido N/S</b>	<b>Volume Total Diário</b>	<b>Dia</b>	<b>Sentido S/N</b>	<b>Sentido N/S</b>	<b>Volume Total Diário</b>
<b>1</b>	93.773	94.036	187.809	<b>16</b>	96.146	97.612	193.758
<b>2</b>	93.598	94.291	187.889	<b>17</b>	74.872	67.317	142.189
<b>3</b>	90.717	86.199	176.916	<b>18</b>	64.011	67.911	131.922
<b>4</b>	83.530	81.904	165.434	<b>19</b>	83.669	78.899	162.568
<b>5</b>	97.293	92.839	190.132	<b>20</b>	100.770	98.793	199.563
<b>6</b>	99.024	95.658	194.682	<b>21</b>	75.775	71.638	147.413
<b>7</b>	95.491	94.725	190.216	<b>22</b>	89.715	84.504	174.219
<b>8</b>	92.420	94.902	187.322	<b>23</b>	80.422	80.105	160.527
<b>9</b>	96.146	94.291	190.437	<b>24</b>	92.889	85.256	178.145
<b>10</b>	92.992	85.839	178.831	<b>25</b>	79.380	77.386	156.766
<b>11</b>	80.438	73.335	153.773	<b>26</b>	96.794	95.805	192.599
<b>12</b>	100.496	97.134	197.630	<b>27</b>	100.616	97.942	198.558
<b>13</b>	97.488	86.044	183.532	<b>28</b>	96.745	94.725	191.470
<b>14</b>	95.491	92.350	187.841	<b>29</b>	98.372	95.882	194.254
<b>15</b>	95.509	92.420	187.929	<b>30</b>	95.965	97.404	193.369

**Resumo mensal do volume de tráfego**  
**Túnel Rebouças - 1ª DVE**

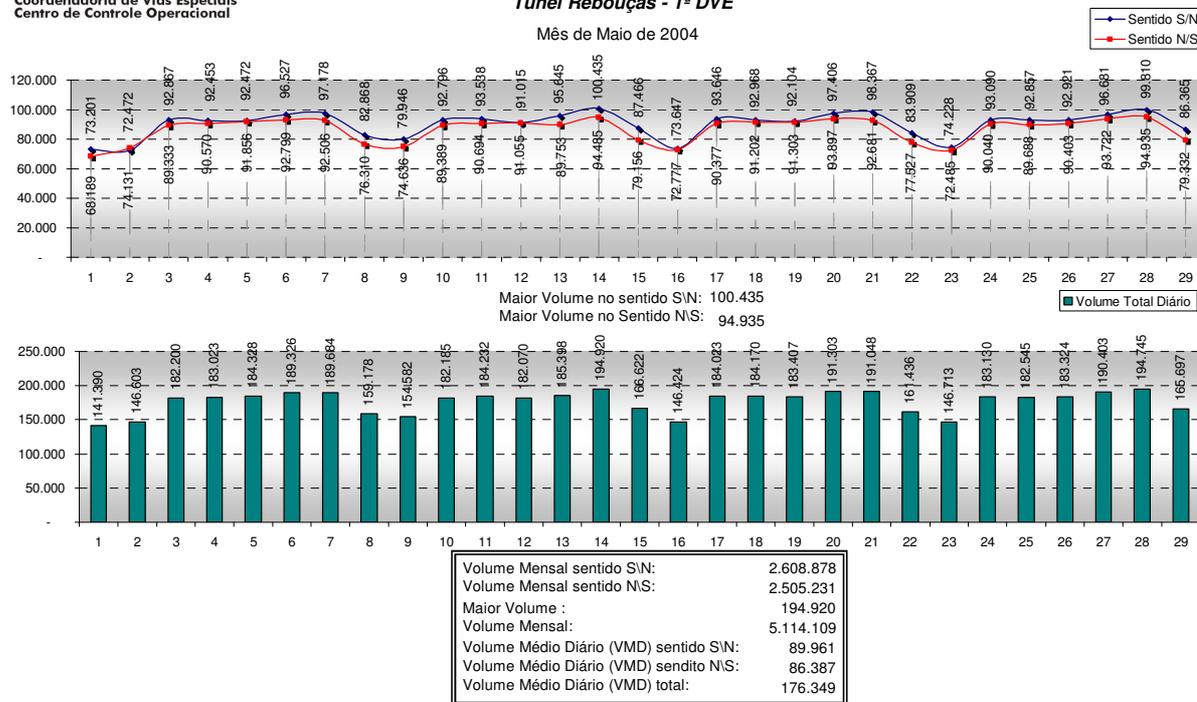
Mês de Março de 2004



**Figura 4.15. Resumo mensal do mês de março de 2004 do volume de tráfego no Túnel Rebouças.**

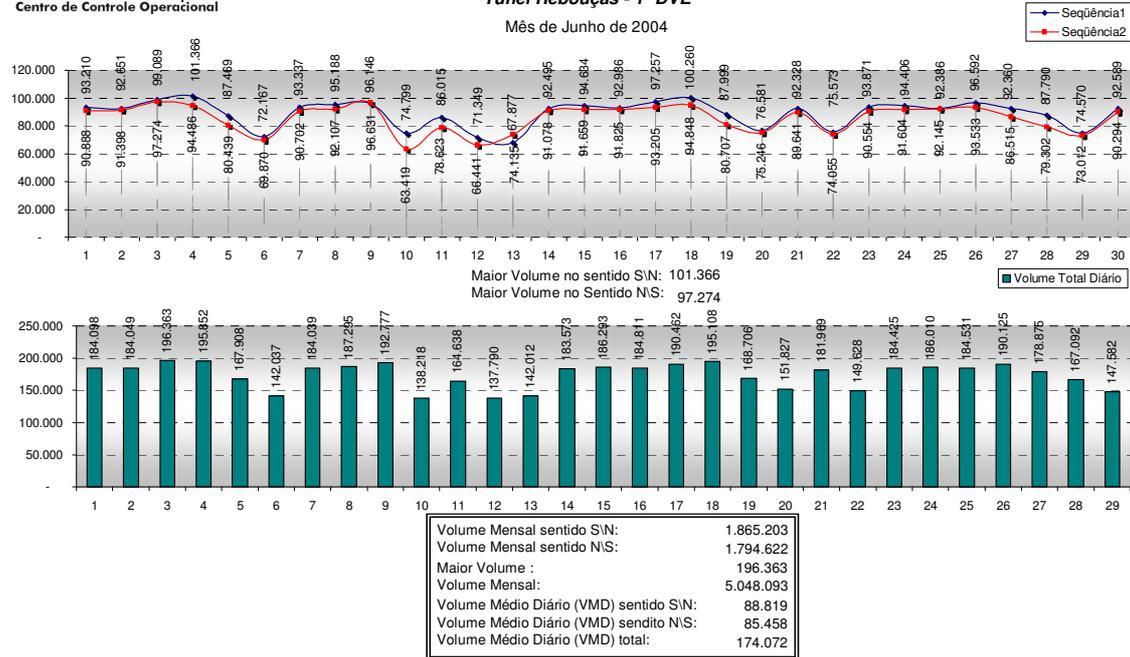
**Resumo mensal do volume de tráfego**  
**Túnel Rebouças - 1ª DVE**

Mês de Maio de 2004



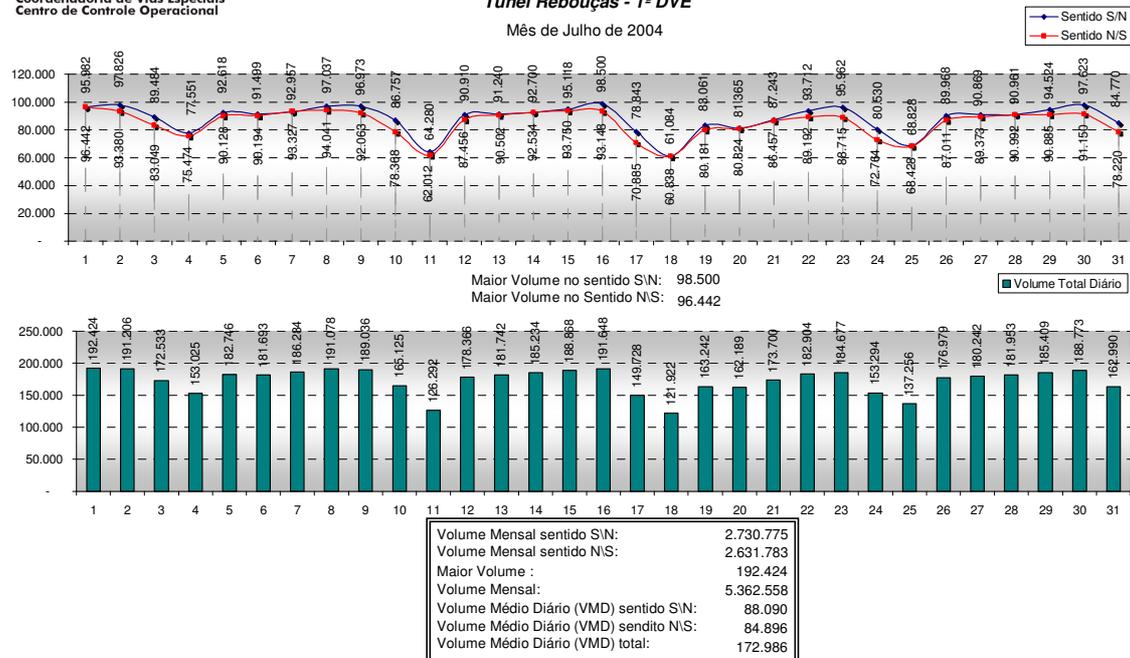
**Figura 4.16. Resumo mensal do mês de maio de 2004 do volume de tráfego no Túnel Rebouças.**

**Resumo mensal do volume de tráfego**  
**Túnel Rebouças - 1ª DVE**



**Figura 4.17. Resumo mensal do mês de junho de 2004 do volume de tráfego no Túnel Rebouças.**

**Resumo mensal do volume de tráfego**  
**Túnel Rebouças - 1ª DVE**

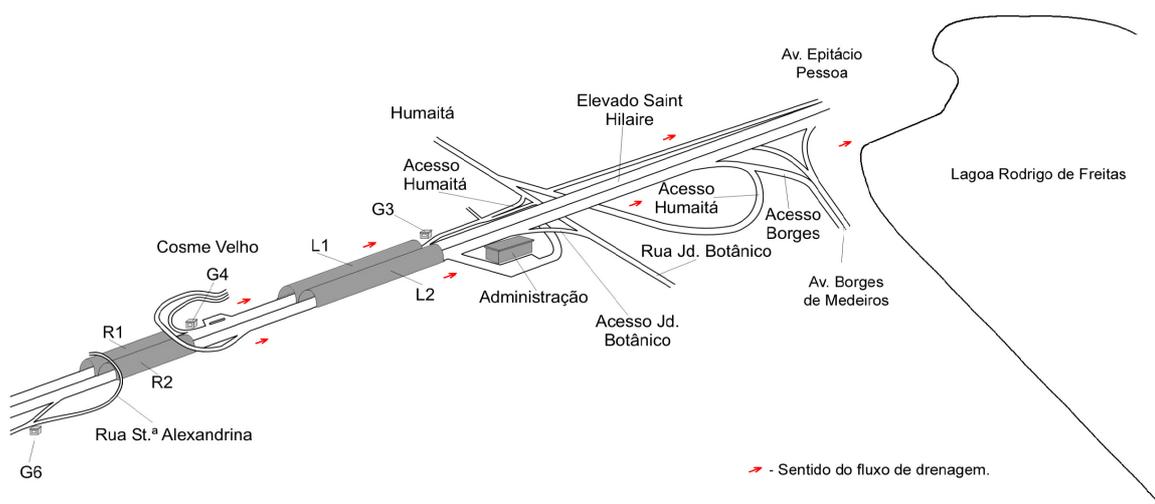


**Figura 4.18. Resumo mensal do mês de julho de 2004 do volume de tráfego no Túnel Rebouças.**

## CAPÍTULO 5. METODOLOGIA

### 5.1. ESCOLHA DO LOCAL

Conforme apresentado no capítulo 1, o objetivo principal deste trabalho está concentrado na avaliação da qualidade de águas de drenagem urbanas, através da análise de parâmetros físico-químicos, correlacionados aos poluentes originados pelo tráfego de veículos automotores. Assim, a escolha do local de amostragem teve papel importante uma vez que era necessário escolher uma área urbanizada, cujas condições climáticas fossem monitoradas e conhecidas. Agrega-se, a tais informações, a necessidade do conhecimento de todo movimento de tráfego controlado e cuja ação antrópica estranha aos veículos, fosse bastante minimizada. A escolha do eixo (corredor) rodoviário de ligação entre as Zonas Norte e Sul da Cidade do Rio de Janeiro, mostrou-se adequada nestes aspectos. Ressaltam-se ainda as paralisações temporárias realizadas nas operações de operação e manutenção, facilitando a coleta de amostras. Uma vista do conjunto eixo viário Lagoa São Cristóvão e o sentido de fluxo de drenagem das águas pluviais, e conseqüentemente, dos poluentes carregados por essas águas, é apresentado na **Figura 5.1**.



**Figura 5.1** Vista do conjunto eixo viário Lagoa – São Cristóvão, na bacia contribuinte à Lagoa Rodrigo de Freitas.

O tráfego de veículos é controlado *on line* pela Primeira Divisão de Vias Especiais, 1ª DVE, da Coordenadoria de Vias Especiais, CVE da Secretaria Municipal de Transportes (SMTR). Possui ainda as condições climáticas da região controladas através das estações meteorológicas, também com monitoramento *on line*, realizado pela rede da Fundação Instituto de Geotécnica, GEO-RIO.

## 5.2 IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA

Os pontos de coleta foram concentrados na área situada na Zona Sul, próximo a Lagoa Rodrigo de Freitas, imediatamente na saída. Foram realizadas coletas em 5 pontos, sendo 3 pontos localizados no piso da rodovia, distribuídos ao longo do eixo viário e 2 pontos de coletas em bueiros, conforme detalhado a seguir. Ressalta-se que, embora não fosse o principal objetivo deste estudo, a localização dos pontos de amostragens permitiu observar ainda a influência do tipo de pavimentação, uma vez que as duas galerias do túnel possuem pavimentações diferentes, sendo uma de asfalto e outra de concreto.

No eixo viário foi escolhido um ponto de amostragem dentro de cada galeria e um ponto, em área aberta atingida pelo sol, localizado na entrada da galeria L2 do Túnel Antônio Rebouças, à aproximadamente cinquenta metros (50m) na saída do túnel (lado da Lagoa). As localizações dos pontos no eixo viário tiveram as seguintes denominações:

- a) Ponto **P1** – localizado externamente, a aproximadamente 50m túnel, com pavimentação de asfalto e recebendo ação dos raios solares, (**Figura 5.2**)
- b) Ponto **P2** – localizado internamente a cerca de 100 metros da entrada (sentido Jardim Botânico – São Cristóvão), no interior da galeria L2, cuja pavimentação é de asfalto; (**Figura 5.3**)
- c) Ponto **P3** – localizado internamente, no interior da segunda galeria (R2), cuja pavimentação é de concreto, também a aproximadamente 100 metros da entrada. (**Figura 5.4**).

Os pontos de coletas nos bueiros foram localizados nas extremidades do túnel, denominados pontos **B1** e **B2**, (ver **Figuras 5.5, 5.6 e 5.7**).

O esquema apresentado pela **Figura 5.8** apresenta a localização de cada um dos pontos de amostragem.



**Figura 5.2.** Imagem do ponto de coleta P1. Observar que atrás da área demarcada encontra-se a entrada do túnel. A foto possui pouca claridade em função do horário da coleta.



**Figura 5.3.** Imagem do ponto de coleta P2.



**Figura 5.4. Imagem do ponto de coleta P3.**



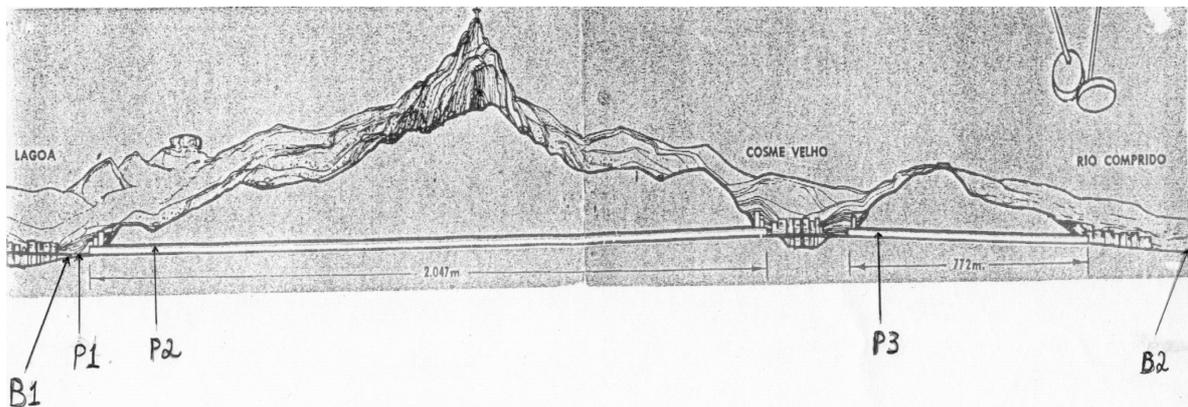
**Figura 5.5. Imagem dos pontos de coleta localizados em bueiros.**



**Figura 5.6 Imagem dos pontos de coletas localizadas em bueiros. Grade fechada.**



**Figura 5.7.** Imagem dos pontos de coletas localizadas em bueiros. Grade aberta.



**Figura 5.8.** Esquema do eixo viário e localização dos pontos de coletas.

### 5.3. METODOLOGIA DE COLETA DAS AMOSTRAS

Foram determinados três pontos de amostragem que foram devidamente marcados no chão e nas paredes próximas em cada ponto de amostragem, para que a cada nova campanha de amostragem fosse realizada no mesmo local e posição feita anteriormente.

As amostras foram realizadas quinzenalmente e tiveram dois processos distintos. Na primeira forma, a coleta foi feita vertendo-se 10 litros de água diretamente na via (no piso) numa área de um metro quadrado ( $1 \text{ m}^2$ ). Este volume de dez litros de água usados na lavagem do piso na via, equivale a um evento de precipitação meteorológica cujo índice pluviométrico é igual a 10 mm de altura de coluna líquida, pois cada 1 mm de chuva

corresponde a um (1) litro de água por metro quadrado ( $1 \text{ mm de chuva} \equiv 1 \text{ L/m}^2$ ) (GEO-RIO, 2004). Essa quantidade de água usada, 10 litros em cada ponto de amostragem, é próxima da média de índice pluviométrico local e considerado quantidade de água suficiente para lavar bem a área demarcada, além de operacionalmente exequível.

A área foi demarcada por um quadro de metal rígido pintado com tinta anti-ferrugem, no qual foi colado uma borracha de vedação de aproximadamente 2 cm de espessura, que pressionado contra o chão, reteve a água purificada e deionizada usada para lavar a área demarcada. Posteriormente, esta água era recolhida com auxílio de um pequeno rodo e uma pá plástica, conforme pode ser observado pela **Figura 5.9**.



**Figura 5.9. Detalhes da marcação na pavimentação e material utilizado para o recolhimento das amostras.**

Após o recolhimento, a água era colocada em um recipiente plástico graduado de 5 à 10 litros, para em seguida, após homogeneização, ser distribuída nos respectivos frascos apropriados aos parâmetros que seriam analisados, **Figura 5.10**.



**Figura 5.10. Detalhes do procedimento de coleta da água distribuída.**

Como apresentado, para este procedimento eram utilizados 10 litros de água tratada para lavagem do piso. Entretanto, o recolhimento era de aproximadamente 7 (sete) litros. Esta diferença no volume de água recolhida é decorrente das perdas nas depressões e cavidades do piso na pista. Além disso, parte da água escapa por baixo da borracha de vedação por mais que se pressione a cinta de metal contra o chão.

Na segunda forma a coleta foi feita em fracos plásticos de vinte (20) litros de capacidade, colocados e fixados dentro de bueiros (B1 e B2) coletores de águas pluviais fora do Túnel (nas extremidades, um de cada lado) para que enchessem quando ocorressem chuvas.

#### **5.4. DATAS DAS COLETAS DE AMOSTRAS**

O cronograma da programação de coletas das amostras feitas no decorrer do primeiro semestre do ano de 2004 foi estabelecido inicialmente de acordo com o tempo disponível para o levantamento e a análise dos dados de campo. As campanhas de amostragem foram realizadas regularmente em média de quinze em quinze dias, nos pontos P1, P2 e P3; sendo que em cada um desses pontos de monitoramento e coleta no eixo viário, foram feitas cinco campanhas de amostragem.

De maneira a organizar a apresentação dos resultados das análises de águas obtidas a partir da lavagem do piso no eixo viário, utilizou-se uma identificação para as amostras colhidas, assim discriminadas: P1-1; P1-2, P1-3, P1-4 e P1-5, e refere-se aos resultados de análises das amostras coletadas somente no ponto P1, o segundo número refere-se a ordem da coleta nas cinco campanhas de amostragens realizadas no referido ponto. Os resultados dos outros dois pontos, P2 e P3, foram identificados da mesma similar.

As datas das coletas foram:

- 1ª. Coleta: dia 30 de abril;
- 2ª. Coleta: dia 13 de maio;
- 3ª. Coleta: dia 28 de maio
- 4ª. Coleta: dia 18 de junho;
- 5ª. Coleta: dia 02 de julho

A **Figura 5.11** apresenta uma imagem da identificação dos frascos conforme utilizados.



**Figura 5.11. Imagem de identificação dos frascos de amostragem.**

## **5.5. CONSIDERAÇÕES QUANTO ÀS CONDIÇÕES AMBIENTAIS NO PERÍODO DE AMOSTRAGEM**

No primeiro semestre de 2004, por ocasião da coleta das amostras houve um período extenso de estiagem de chuvas, porém conseguiu-se coletar amostras de águas de chuva em três eventos meteorológicos diferentes. A primeira amostragem no bueiro B1, foi colhida no evento do dia 15/05/04, no período de 19:00 às 23:00 horas, cujo índice pluviométrico totalizou 16,6 mm. A segunda amostragem no bueiro B2 foi colhida no evento do dia 18/05/04, no período de 23:00 às 24:00 horas, cujo índice pluviométrico totalizou 12,0 mm. A terceira amostragem, novamente no bueiro B1 foi colhida no evento do dia 04/06/04, no período de 01:00 às 04:00 horas, cujo índice pluviométrico totalizou 17,6 mm.

Estes índices pluviométricos foram registrados pela estação do Jardim Botânico, parte integrante da rede da GEO-RIO. Este índice é medido diariamente e tomado cumulativamente a cada 15 minutos e armazenado em arquivos gráficos de informações, ao final pode-se consultar o intervalo de interesse basta somar as medições no período.

A contagem dos veículos feita durante o período do estudo, está registrado no “resumo mensal do volume de tráfego” do Túnel Rebouças, expedido após contagem eletrônica pela 1ª DVE, cujos totais de veículos diários podem ser vistos nos gráficos ilustrativos do capítulo 4 deste trabalho. Desse modo, é possível relacionar as quantidades de poluentes depositados na pista com o volume médio de tráfego diário dos veículos num determinado intervalo de tempo.

## **5.6. PARÂMETROS ANALISADOS**

Para avaliação da qualidade das águas coletadas nos vários pontos de amostragens externos e internos do túnel foram escolhidos apenas parâmetros físico-químicos principalmente pelas características específicas do tipo de poluentes (óleos, graxas, borrachas, metais, etc). Nestes pontos, considerava-se que por ser uma área predominantemente ao tráfego de veículos não haveria presença significativa de microrganismos não sendo então necessárias as análises de parâmetros biológicos.

Os parâmetros escolhidos foram: sólidos totais, sólidos suspensos totais, condutividade, pH, alcalinidade total, óleos e graxas, DQO., nitrogênio amoniacal, fósforo total, BTEX, cromo, cádmio, cobre, chumbo, zinco, níquel, ferro e manganês. Ao todo foram dezoito (18) parâmetros analisados em cada uma das amostras.

## **5.7. Considerações quanto aos procedimentos laboratoriais**

As coletas de amostras foram realizadas dentro de critérios de preservação e de armazenamento padronizados de forma a permitir a confiabilidade dos resultados obtidos.

As metodologias aplicadas para as análises dos parâmetros físico-químicos também seguiram as recomendações do *Standard Methods for Examination of Water and Waster* (APHA, AWWA, WEF, 1998).

Em laboratório o parâmetro pH, que é um indicador das condições ácidas ou básicas de um efluente, foi determinado por aparelho de pHmetro, marca DIGIMED, modelo DM-2 à temperatura de 25°C, segundo a norma SM 4500H<sup>+</sup>(B). O parâmetro condutividade elétrica está relacionado com a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas no efluente, foi medida em um aparelho condutivímetro DIGIMED, modelo DM-3 à temperatura de 25°C, segundo a norma SM 2510(B). O parâmetro alcalinidade total foi determinado por método titulométrico, segundo a norma SM 2320(B). O parâmetro demanda química de oxigênio (DQO) representa a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar quimicamente a matéria orgânica carbonácea e utiliza fortes agentes químicos oxidantes em condições ácidas, feita por titulometria de acordo com a norma SM 5220(B). O parâmetro óleos e graxas que reúne a fração da matéria orgânica solúvel em solventes como o hexano, foi determinado pela técnica de gravimetria de acordo com a norma SM 2520(B). O parâmetro nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) e as demais formas de nitrogênio encontradas no efluente são importantes, porque o nitrogênio é um nutriente indispensável para o desenvolvimento dos microrganismos e algas no seu habitat, foi determinado por titulometria segundo a norma SM 4500NH<sub>3</sub>(E). O parâmetro fósforo total, assim como o nitrogênio, tanto na forma orgânica como na forma inorgânica é um importante nutriente indispensável ao desenvolvimento de microrganismos e algas, foi determinado por espectrofotometria na região do visível usando o aparelho Espectrofotômetro da MICRONAL, modelo B-382, segundo a norma SM 4500P (E).

Tanto o fósforo como nitrogênio são determinados principalmente por estarem associados à questão da avaliação do grau de eutrofização no ambiente aquático. A carga de sólidos no efluente líquido resulta de todos os contaminantes com exceção dos gases dissolvidos e estas determinações são importantes por revelar informações quanto à natureza química, o tamanho de partículas e estado, além da decantabilidade dos sólidos, importantes no tratamento. O parâmetro sólidos totais foi feito por gravimetria segundo a norma SM 2540(C) e o parâmetro sólidos suspensos totais feito também por gravimetria de acordo com a norma SM 2540(D).

Com o objetivo de detectar compostos orgânicos voláteis e apurar possíveis derrames ou vazamentos de combustíveis no local de estudo analisou-se o parâmetro BTEX, feito usando a metodologia de análise orgânica para determinação de compostos orgânicos por cromatografia gasosa com detecção por espectrometria de massa (CG/MS), tendo em vista que as quantidades dos poluentes nas amostras coletadas eram diluídas e pequenas, foi necessário fazer tratamento preliminar para concentrá-la e torná-la adequadas à injeção no

cromatógrafo a gás, esta análise foi feita por pessoal técnico especializado no Laboratório do Centro de Tecnologia Ambiental da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro CTA-FIRJAN, usando um aparelho de CROMATÒGRAFO a GÁS modelo CG AUTOSYSTEM XL da PERKIN ELMER com detector de massas TURBOMASS da PERKIN ELMER, o CG usa o acessório PURGE STRAP marca TEKMAR modelo 2032 como sistema de pré-concentração e injeção no CG, o sistema registra e interpreta, em software, os dados obtidos. O limite de detecção deste método é de 0,10 µg/L de acordo com a norma EPA 8270.

Os parâmetros de metais foram analisados de duas maneiras distintas. A primeira, que incluiu as análises da maior parte de amostras das águas de lavagens de pista e pluviais, foram analisadas por Espectrofotometria de Absorção Atômica, EAA, feitas por pessoal técnico especializado no Laboratório da Empresa de Tratamento de Resíduos Industriais de Belford Roxo S.A. - TRIBEL, usando o aparelho Espectrofotômetro de Absorção Atômica da PERKIN ELMER, modelo ANALYST 300, de acordo com os MÉTODOS FEEMA, seguintes: MF 460R3 para Cromo, MF 463 para Cádmiu, MF 460R3 para Cobre, MF 462R0 para Chumbo, MF 466 para Zinco, MF 467 para Níquel, MF 465 para Ferro e MF 464 para Manganês.

A segunda maneira, que incluiu as amostras finais, foram feitas por pessoal técnico especializado no Laboratório do Centro de Tecnologia Ambiental da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro CTA-FIRJAN, usando um aparelho de Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado, ICP-OPTICAL EMISSION, o instrumental é denominado OPTIMA 4300V ICP OPTICAL EMISSION SPECTROMETER, ICP-OES, que analisa metais de acordo com a norma EPA-METHOD 200-7. Esta técnica revela resultados com maior sensibilidade e precisão do que a Espectrofotometria de Absorção Atômica, EAA.

Os outros parâmetros sanitários físico-químicos foram analisados no Laboratório da Engenharia Sanitária do Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia da UERJ; todos feitos por pessoal técnico especializado usando os métodos listados adiante.

A **Tabela 5.1** apresenta a lista dos parâmetros analisados suas respectivas normas de análises.

**Tabela 5.1. Lista de parâmetros analisados e suas respectivas normas de ensaios.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Norma Referências de. Ensaio</b>
pH	SM 4500 H(B)
Alcalinidade total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	SM 2320(B)
Condutividade (uS/cm)	SM 2510(B)
D.Q.O (mg O <sub>2</sub> /L)	SM 5220(B)
Sólidos Totais (mg/L)	SM 2540(B)
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	SM 2540(D)
Óleos e graxas (mg/L)	SM 5520(D)
Nitrogênio amoniacal (mgN-NH <sub>4</sub> /L)	SM4500NH3(E)
Fósforo Total (mg P/L)	SM 4500 P(E)
BTEX (ug/L)	EPA 8270
Cromo (mg/L)	MF 460 R3
Cádmio (mg/L)	MF 463
Cobre (mg/L)	MF 460 R3
Chumbo (mg/L)	MF 462 R0
Zinco (mg/L)	MF 466
Níquel (mg/L)	MF 467
Ferro (mg/L)	MF 465
Manganês (mg/L)	MF 464
METAIS (Cr, Cd, Cu, Pb, Zn, Ni, Fé e Mn)	EPA METHOD 200-7

Obs. (1) SM – Standard Methods (AWWA,1998) (2) MF-Método FEEMA; (3) EPA-Environmental Protection Agency.

## CAPÍTULO 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 6.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A caracterização de efluentes e verificação da qualidade de águas, através dos resultados das análises de parâmetros sanitários selecionados, permitiu obter várias informações sobre os teores de poluentes encontrados no eixo viário e podem ser observados nas tabelas de resultados analíticos adiante.

Para as lavagens da pista no eixo viário, as águas purificadas e deionizadas usadas, apresentam as características para alguns de seus parâmetros, listado na **Tabela 6.1**.

**Tabela 6.1. Lista de parâmetros característicos de águas usadas nas lavagens de pista no eixo viário.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores característicos</b>
pH	Variando entre 6,5 e 6,8
Dureza total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	zero
Condutividade elétrica (uS/cm)	Variando entre 0,1 a 1
Cloretos (mg/L)	Variando entre 3,5 a 4,0
Ferro (mg/L)	Variando entre 0,05 e 1,0

Esta água purificada e deionizada é utilizada para as finalidades industriais nos processos de produção e geração de vapor pelas caldeiras da empresa DE MILLUS S.A.

Os documentos legais que serviram de padrões para referenciar comparativamente e embasar os resultados das análises físico-químicas dos parâmetros, variações nos resultados, modificações de concentrações, comparações entre os parâmetros, tirar conclusões nesse estudo, podem ser encontradas na literatura especializada, como o artigo 21 da Resolução CONAMA nº 20 de junho de 1986, que trata de “controle de lançamento de efluentes por qualquer fonte poluidora nos corpos d’águas”, às Normas Técnicas e Diretrizes da FEEMA, como a NT-202.R-10 que trata dos “critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos”, a NT-213.R-4 que trata dos “critérios e padrões para controle da toxicidade em efluentes líquidos industriais”, a DZ-205.R-5 que trata de “controle de carga orgânica em

efluentes líquidos de origem industrial”, entre outras, onde se listam os limites e os padrões legais, aos quais todos os resultados apurados neste trabalho referenciam-se.

As amostras coletadas no primeiro dia revelaram através dos resultados das análises físico-químicas, que vários parâmetros apresentavam valores de concentração altos. Entre tais parâmetros destacam-se: os sólidos totais, o pH baixo numa faixa muito ácida, a condutividade muito alta, desviando completamente daqueles valores obtidos nas campanhas de amostragens feitas nos dias posteriores, para o mesmo parâmetro. Esta situação é naturalmente esperada. Uma possível explicação para os valores de resultados observados nos parâmetros remete-se ao fato de não se conhecer informações progressas sobre o fluxo e ocorrências no tráfego de veículos, o período de acumulação dos poluentes, as declividades das galerias em relação aos pontos de amostragens, as intempéries nos locais e outros fatores que poderiam estar produzindo alterações tão significativas nos referidos parâmetros.

Por isso, particularmente os resultados revelados neste primeiro dia de amostragem de águas de lavagem de piso, induziram-se a considerá-los apenas como uma constatação inicial que permitiria um diagnóstico da situação e serviu de ponto de partida para o trabalho de coleta de águas posteriormente nos mesmos locais de amostragem. Nas amostras realizadas nos períodos seguintes preocupou-se apenas com o intervalo de dias entre as coletas e o número de veículos que circularam no referido período.

Outrossim, os respectivos resultados das análises deste primeiro dia estão registrados entre os outros pontos de amostragem, porém não foram incluídos na composição da média dos valores dos parâmetros, cujos resultados formam a base para a interpretação de resultados, sugestões e avaliação do panorama global deste trabalho.

A partir do segundo dia de amostragem, observou-se na média, que a maioria dos parâmetros apresentaram resultados com um perfil mais regular nas suas variações de concentrações, entre eles os valores de pH e de condutividade em relação a quantidade de veículos que circularam na via em um determinado intervalo de tempo.

A **Tabela 6.2** apresenta os resultados das análises dos parâmetros de águas de lavagens do piso colhidas nos pontos P1, P2 e P3 e as respectivas médias aritméticas por intervalo de tempo em que foram realizadas as coletas, em concomitância com o número de veículos que circularam no eixo viário durante os dias correspondentes a cada intervalo. A **Tabela 6.3** apresenta o resumo médio geral dos resultados da tabela anterior e as respectivas médias aritméticas gerais. A **Tabela 6.4**. reúne as amostragens feitas nos mesmos pontos de

coleta isoladamente, com o objetivo de verificar a influência da pavimentação, no local em que se fez as coletas de amostras, dado que eram locais distintos.

Nesse aspecto, os resultados das análises revelam que as concentrações dos parâmetros, encontradas nos pontos P1 e P2 com pavimentação de asfalto, são maiores comparando-se às concentrações encontradas para os mesmos parâmetros no ponto P3 com pavimentação de concreto, sinalizando para um maior desgaste mecânico dos veículos no pavimento asfaltado, indicando que é maior a quantidade de poluentes nesse trecho sugerindo que, não fosse pelo maior custo, seria melhor sob o ponto de vista ambiental, que toda a pavimentação do Túnel, fosse de concreto.

Para que pudesse fazer uma correlação dos resultados, sob a forma de representação gráfica, consideram-se os resultados dos parâmetros a partir do segundo dia de coleta, as variações médias dos resultados por intervalo de tempo entre uma amostragem e outra, além de simultaneamente considerar o número de veículos que circularam no Túnel no referido tempo, durante o período que durou o estudo.

As análises dos parâmetros das amostras colhidas no primeiro dia de amostragem revelaram resultados que se apresentaram muito díspares em relação aos resultados obtidos nos outros dias de amostragens. Pelo fato de não se conhecer informações, como volume de tráfego anterior, as possíveis ocorrência de acidentes, os derrames ou vazamentos acidentais dos veículos na pista, entre outras causas que poderiam estar influenciando estes primeiros resultados nos pontos de amostragem. Dessa forma optou-se por não considerá-lo para fins de avaliação quantitativa dos poluentes, ficando apenas para este fim os resultados das amostragens feitas posteriormente. Os resultados desse primeiro dia de amostragem, constaram entre os demais resultados nos quadros e nos gráficos, porém apenas com um caráter de diagnóstico inicial relativo aos locais em que se fez as repetidas coletas de amostras posteriormente e que as condições nestes locais de coletas, estariam mais conhecidas e controladas. Sendo considerados os resultados obtidos a partir da segunda vez que se fez amostragens nos mesmos locais para as devidas interpretações e conclusões.

Os gráficos relativos aos resultados dos parâmetros de águas de lavagem de pisos são apresentados adiante e procura-se fazer algumas correlações entre os resultados dos parâmetros, as quantidades de veículos que circularam no eixo viário nos respectivos intervalos de dias entre uma amostragem e outra, fazendo uma avaliação global do comportamento dos parâmetros e suas variações ao longo do período de estudo. Simultaneamente apresentam-se alguns comentários e observações feitas para os mesmos

parâmetros analisados nas águas pluviais colhidas nos bueiros, buscando associá-los e compará-los ao comportamento geral observado nestes, relativamente as águas de lavagem de piso. A **Tabela 6.5** apresenta os resultados de análises dos parâmetros das águas pluviais colhidas nos bueiros, nos três eventos de precipitação de chuvas, a respectiva média aritmética e os índices pluviométricos registrados no período.

**Tabela 6.5 – Apresentação dos resultados das análises de águas pluviais coletadas nos bueiros B1 e B2.**

Datas das coletas	15/05/04	18/05/04	04/06/04	
Parâmetros	B2	B1,1	B1,2	Média
pH	6,2	6,4	5,9	<b>6,2</b>
Alcalinidade Total ( mg CaCO <sub>3</sub> /L)	15,3	13,1	8,7	<b>12</b>
Condutividade (uS/cm)	88,3	94,8	54,9	<b>79</b>
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	525	221	65	<b>270</b>
DQO sobrenadante decantado(mg O <sub>2</sub> /L)	34	46	40	<b>40</b>
Sólidos Totais (mg/L)	320	563	157	<b>347</b>
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	230	307	128	<b>222</b>
Óleos e graxas (mg/L)	24	362	62	<b>149</b>
Nitrogênio amoniacal (mgN-NH <sub>4</sub> /L)	1,2	0,3	0,1	<b>0,53</b>
Fósforo Total (mg P/L)	<0,15	0,41	0,16	<b>0,19</b>
BTEX (ug/L)	<0,10	<0,10	<0,10	<b>ND</b>
Cromo (mg/L)	<0,07	0,08	<0,07	<b>ND</b>
Cádmio (mg/L)	<0,02	<0,02	0,03	<b>ND</b>
Cobre (mg/L)	0,04	0,08	<0,03	<b>0,04</b>
Chumbo (mg/L)	<0,38	<0,38	<0,38	<b>ND</b>
Zinco (mg/L)	0,57	0,50	0,22	<b>0,43</b>
Níquel (mg/L)	<0,04	<0,04	<0,04	<b>ND</b>
Ferro (mg /L)	4,25	14,30	1,50	<b>6,68</b>
Manganês (mg/L)	<0,03	0,05	0,05	<b>0,03</b>

Índice pluviométrico do evento meteorológico correspondente ao ponto B1,1 é igual a 12mm

Índice pluviométrico do evento meteorológico correspondente ao ponto B1,2 é igual a 17,6mm

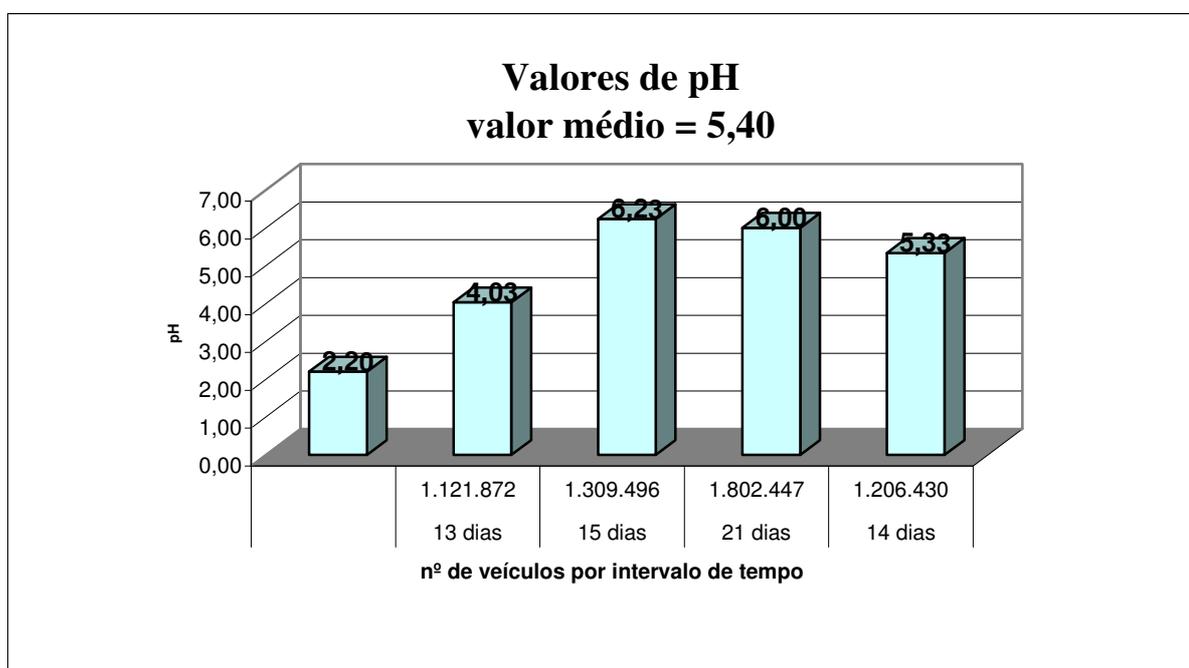
Índice pluviométrico do evento meteorológico correspondente ao ponto B2 é igual a 16mm

Média dos índices pluviométricos igual a 15,2 mm

ND = não detectado. o sinal < corresponde ao limite de detecção do método

## 6.2. POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

Os valores de pH a partir do segundo dia de amostragem de águas de lavagem do piso revelaram-se no intervalo de 4,03 a 6,23 indicando a tendência dessas águas à condição levemente ácida, porém permanecendo nessa faixa por todo o período de coleta de águas apresentando um valor médio de pH igual a 5,40 ficando ainda dentro do intervalo legalmente admitido pelo artigo nº 21 da Resolução CONAMA 20 de 18 de Junho de 1986, que estabelece a faixa de 5 a 9 para lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora. Observa-se que não há uma correlação direta com a quantidade de veículos que circularam durante o intervalo de tempo em que se fez as amostragens. Particularmente do terceiro para o quarto dia de coleta, observa-se uma pequena redução no valor do pH quando tanto a quantidade de veículos como o intervalo de tempo entre as amostragens aumentou. O gráfico apresentado na **Figura 6.1** mostra a variação do valor de pH e o total de veículos que circularam naquele intervalo de tempo.



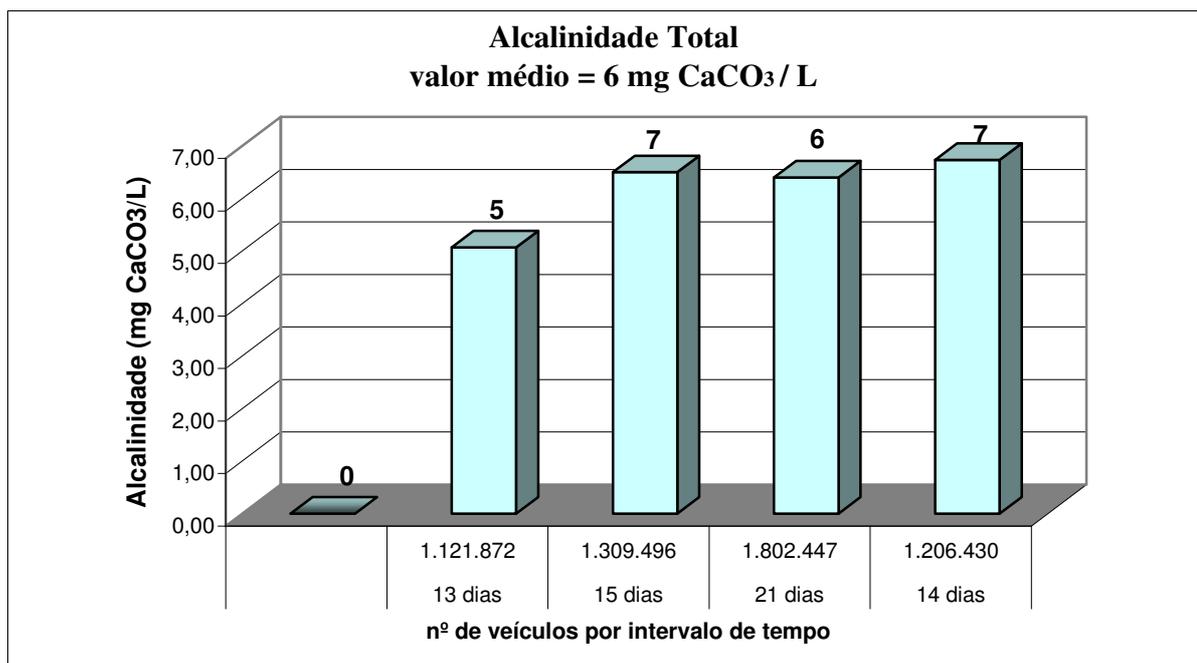
**Figura 6.1. Variação do valor de pH e o total de veículos que circularam naquele intervalo de tempo.**

Já as águas pluviais colhidas nos bueiros apresentaram valores de pH no intervalo de 5,90 a 6,40 indicando a tendência dessas águas à condição levemente ácida, se apresentando também dentro da faixa admitida pela legislação.

### 6.3 ALCALINIDADE TOTAL

A alcalinidade total, analisada nas águas de lavagem de piso, considerada a partir do segundo dia de amostragem, apresentou um valor médio de 6 mg/L, indicando que independente do número de veículos que circularam no eixo viário, não percebeu-se nas amostras coletadas, alteração significativa da alcalinidade no intervalo de tempo considerado.

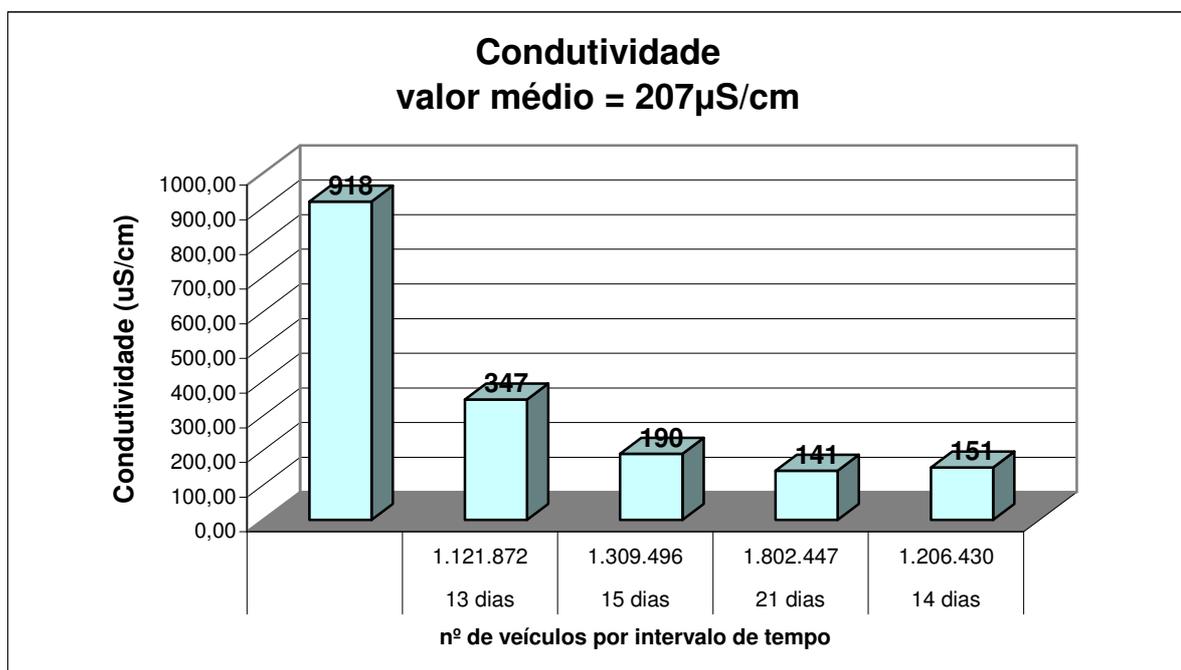
No caso das águas pluviais a alcalinidade total revela valor médio um pouco maior, 12 mg/L; possivelmente devido ao efeito diluente do volume maior das águas de chuvas proveniente do escoamento superficial sobre área de pista extensa, colhida a céu aberto nos bueiros e em área pavimentada. Observa-se que os valores de pH apresentam correlação com os valores obtidos para as alcalinidades, tanto nas águas de lavagem de piso como nas provenientes das chuvas colhidas nos bueiros, pois para o valor médio de pH igual a 5,40 a alcalinidade apresentou o valor médio de 6 mg/L, enquanto que para águas pluviais o valor médio de pH igual a 6,17 o valor médio da alcalinidade foi 12 mg/L, embora as formas de amostragem fossem diferentes. O gráfico apresentado na **Figura 6.2** mostra a variação do valor do parâmetro analisado nas águas de lavagem de piso, em função do número de veículos que circularam no eixo viário e respectivo intervalo de tempo. Não se observa nenhuma correlação entre a variação ocorrida no parâmetro e o volume de tráfego de veículos no intervalo de tempo considerado.



**Figura 6.2.** Variação do valor de alcalinidade total, o total de veículos que circularam no eixo viário e o respectivo intervalo de tempo.

#### 6.4 CONDUTIVIDADE

O valor da condutividade elétrica, tomada a partir do segundo dia de amostragem revelou-se relativamente alta, em seguida reduziu-se significativamente nas outras amostragens. Entretanto observa-se o comportamento antagônico do valor da condutividade em relação ao número de veículos que circularam no eixo viário naquele intervalo de tempo respectivo a cada amostragem feita, notadamente no terceiro dia de coleta cujo valor da condutividade diminuiu enquanto o nº de veículos e intervalo de tempo aumentaram, indicando que não houve correlação com os valores obtidos. A condutividade apresentou um valor médio igual a 207  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , que é alto comparando-se com o valor encontrado para água pluviais que foi de 79  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando que existia uma quantidade grande de eletrólitos nas águas de lavagem de piso, o que induziu-se a crer que deveria ter sido analisado um outro parâmetro de qualidade de águas, que é o teor de cloretos, para se ter uma avaliação melhor da condutividade, o que certamente, foi um erro não tê-lo incluído entre os parâmetros de caracterização destes efluentes. Os cloretos poderiam originar-se dos aerossóis marinhos, devido à proximidade da área de estudo do mar.

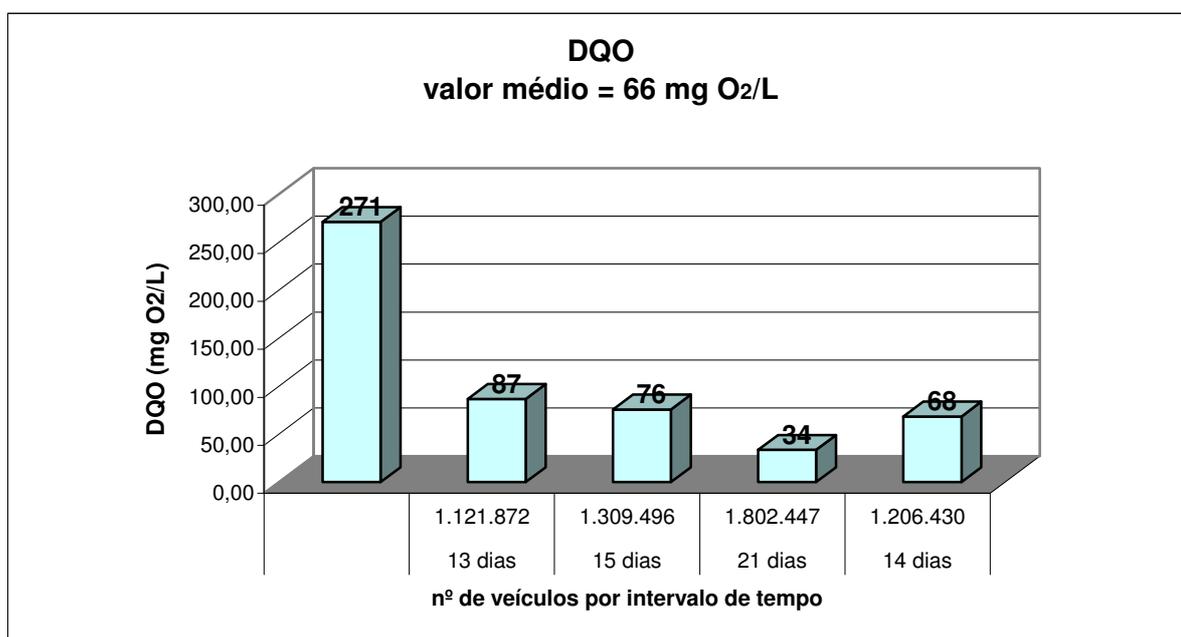


**Figura 6.3.** Variação do valor de condutividade, o total de veículos que circularam no eixo viário e o respectivo intervalo de tempo.

## 6.5. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

A Demanda Química de Oxigênio é importante sempre que se estuda a carga orgânica poluente de efluentes, no gráfico observa-se a diminuição do valor da DQO enquanto aumenta o nº de veículos e o intervalo de tempo entre as amostragens. O valor médio de 66 mg/L para águas de lavagem de piso, já revela um valor excessivo como também é alto o valor encontrado para as águas pluviais que é de 270 mg/L, indicando necessidade de alguma intervenção para redução da carga orgânica. A DQO alta é provavelmente decorrente de fragmentos de material carbonados, como os resíduos de materiais plásticos dos veículos, borrachas dos pneus, óleos lubrificantes, óleos combustíveis, fluidos dos sistemas hidráulicos, fuligem dos veículos entre outros resíduos. Em relação as águas pluviais, analisou-se a DQO do efluente após sedimentação do material em suspensão (o líquido sobrenadante) e obteve-se resultado de 40 mg/L, portanto bem inferior ao valor registrado na mesma amostra

homogeneizada o que reforça a idéia de fazer-se um tratamento simples para baixar os níveis da DQO. A causa desta DQO sobrenadante pode ser devido a compostos orgânicos solúveis, óleos emulsionados entre outras. Outro fato observado também é que a DQO tem correlação com as mudanças observadas para a condutividade, possivelmente porque uma parte significativa dos materiais em suspensão sejam espécies químicas dissociadas ou ionizadas, sendo boas condutoras de corrente elétrica. A DQO de águas de lavagem do piso é representada graficamente.

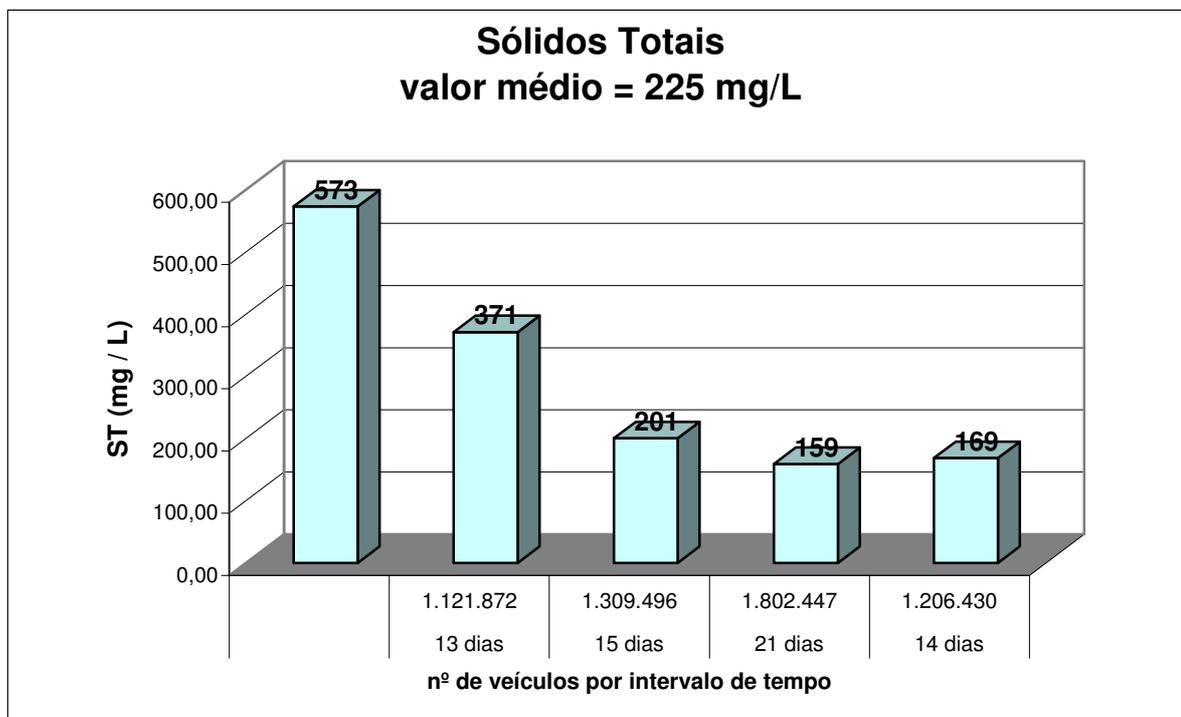


**Figura 6.5. Variação do valor de demanda química de oxigênio e o total de veículos que circularam naquele intervalo de tempo.**

### 6.6 SÓLIDOS TOTAIS (ST)

Os resultados dos sólidos totais (ST), das águas de lavagens de piso apresentaram-se com um valor médio de 225 mg/L e as águas pluviais o valor de 346 mg/L, valores que julgando pelos locais de coleta, na pista, são esperados excessivos, com agravante de agregarem em sua massa possíveis microrganismos, envolvendo-os e de certa forma protegendo-os da ação das radiações solares que os combatem, indo parar pelo transporte hidráulico nas galerias pluviais e por último no corpo d'água receptor. Recomendando-se também uma intervenção para que seja reduzido estes valores de alguma maneira. Não apresenta correlação com o aumento do nº de veículos que circularam no eixo viário naquele

intervalo de tempo considerado, o que se observa é um decréscimo no valor do parâmetro apontando para um nivelamento ao final das amostragens.

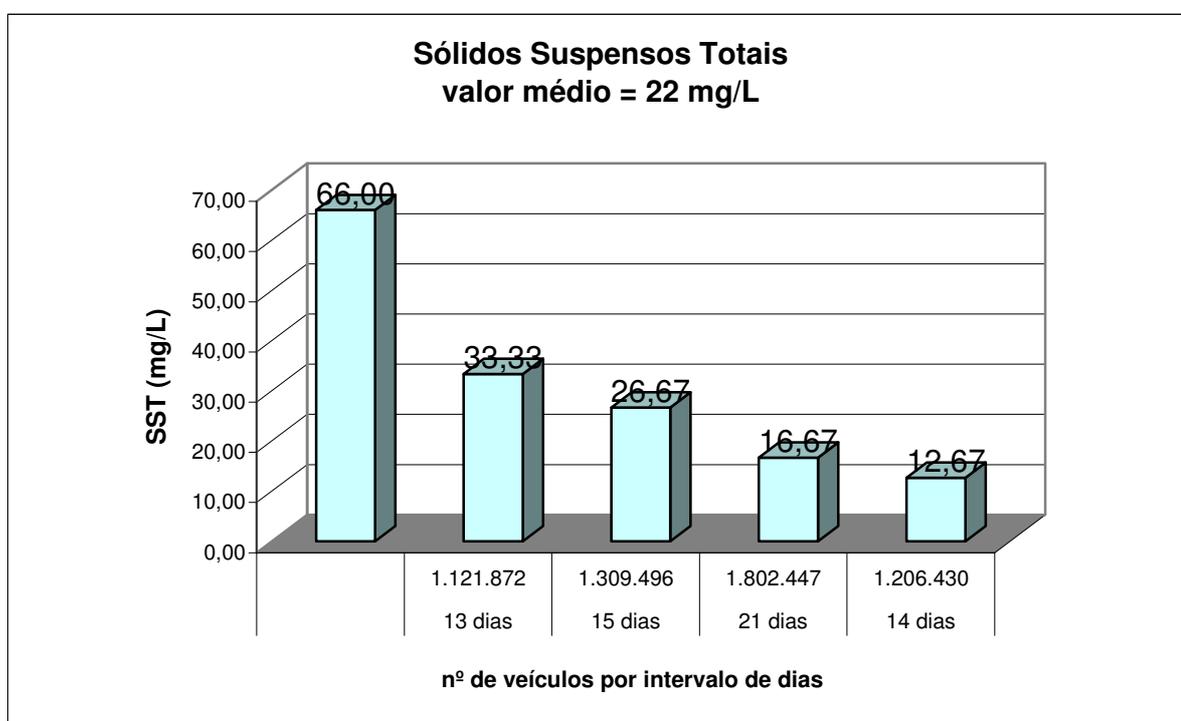


**Figura 6.6.** Variação do valor do teor de sólidos totais e o total de veículos que circularam naquele intervalo de tempo.

### 6.7. SÓLIDOS EM SUSPENSÃO TOTAIS (SST)

As partículas de menores dimensões, capazes de passar por um papel de filtro de tamanho especificado correspondem aos sólidos dissolvidos, enquanto que as de maiores dimensões correspondem aos sólidos em suspensão, são sólidos com diâmetros superiores a 1,2  $\mu\text{m}$  (microns). Neste parâmetro observa-se declínio nas concentrações dos sólidos

suspensos independente da variação do número de veículos ou do intervalo de tempo. Pode ser observado que na quarta vez que se fez amostragem, decorridos 21 dias da amostragem anterior, após uma quantidade expressiva de veículos (1802447) ter circulado no eixo viário e um intervalo de tempo maior, o parâmetro apresentou baixa concentração, indicando não haver uma correlação direta. Outra observação é que em termos gerais os SST correlacionam-se com os ST e a DQO, conforme se depreende dos correspondentes gráficos, nos quais é possível verificar o comportamento similar.

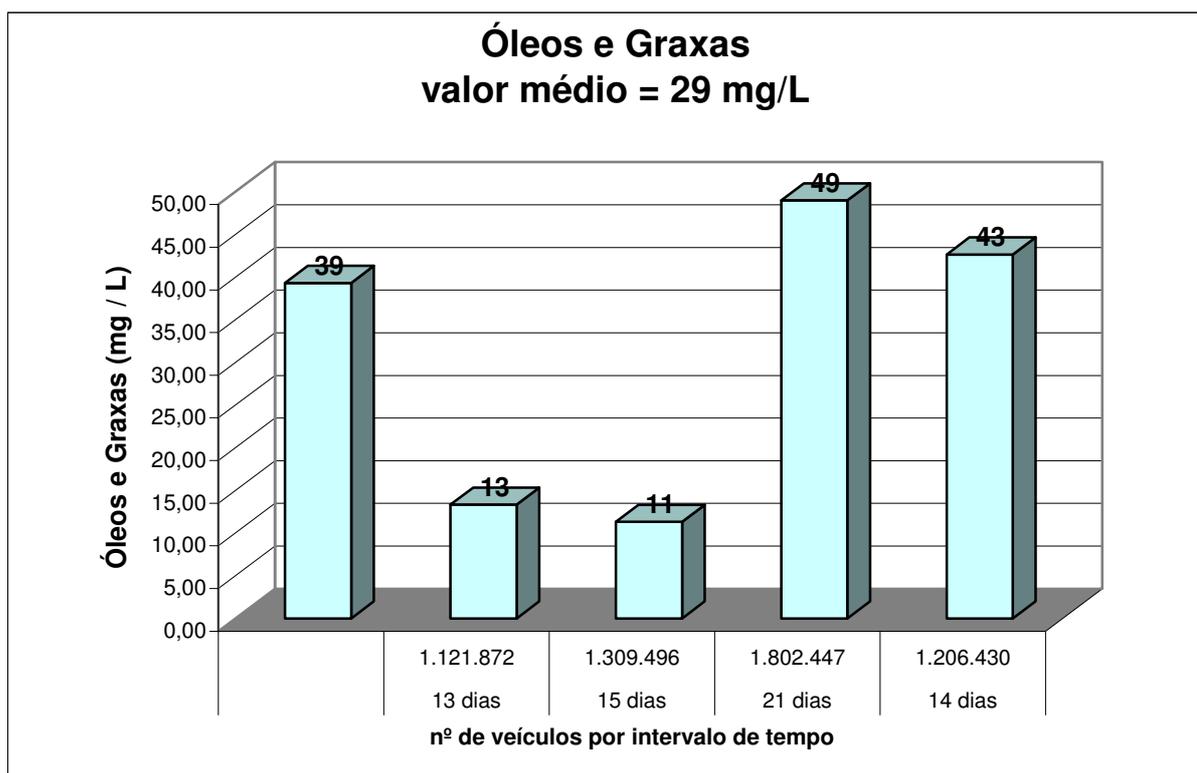


**Figura 6.7. Variação do valor de sólidos suspensos totais e o total de veículos que circularam naquele intervalo de dias.**

## 6.7. ÓLEOS E GRAXAS

Os óleos e gorduras de todas as origens são determinados por este parâmetro, sendo que a legislação faz a distinção estabelecendo o limite de 20 mg/L para a gordura de origem mineral e de 50 mg/L para as de origem animal e/ou vegetal, como no lugar em que foram coletadas as amostras há predominância de produtos de origem mineral conclui-se que este

parâmetro está excessivo e em desacordo com a legislação pertinente. Observa-se a evolução rápida do parâmetro a partir do 4º dia de coleta que acompanhou o aumento do nº de veículos e o intervalo de tempo maior, permanecendo alta em relação ao 5º dia de coleta. Esses resultados podem ser comparados aos do 1º dia de coleta no qual reflete-se um longo período de acumulação de poluentes no eixo viário. Possivelmente, baseado nos resultados dos dois últimos dias de coleta acredita-se que possa ter ocorrido algum sinistro no fluxo veicular, com reflexo no aumento do parâmetro, uma vez que no 2º e 3º dias de amostragem, com um número expressivo de veículos, não se notou anormalidade. Porém é esperado naturalmente que a quantidade de óleos e graxas depositada na pista aumente com o aumento do nº de veículos que circulam. O valor médio excessivo observado para as águas pluviais de 149 mg/L pode ser devido a maior área de lavagem de pista. Estes agregam-se ao longo do percurso de galerias pluviais, contribuindo assim para o assoreamento da drenagem, chegando até ao corpo d'água receptor.

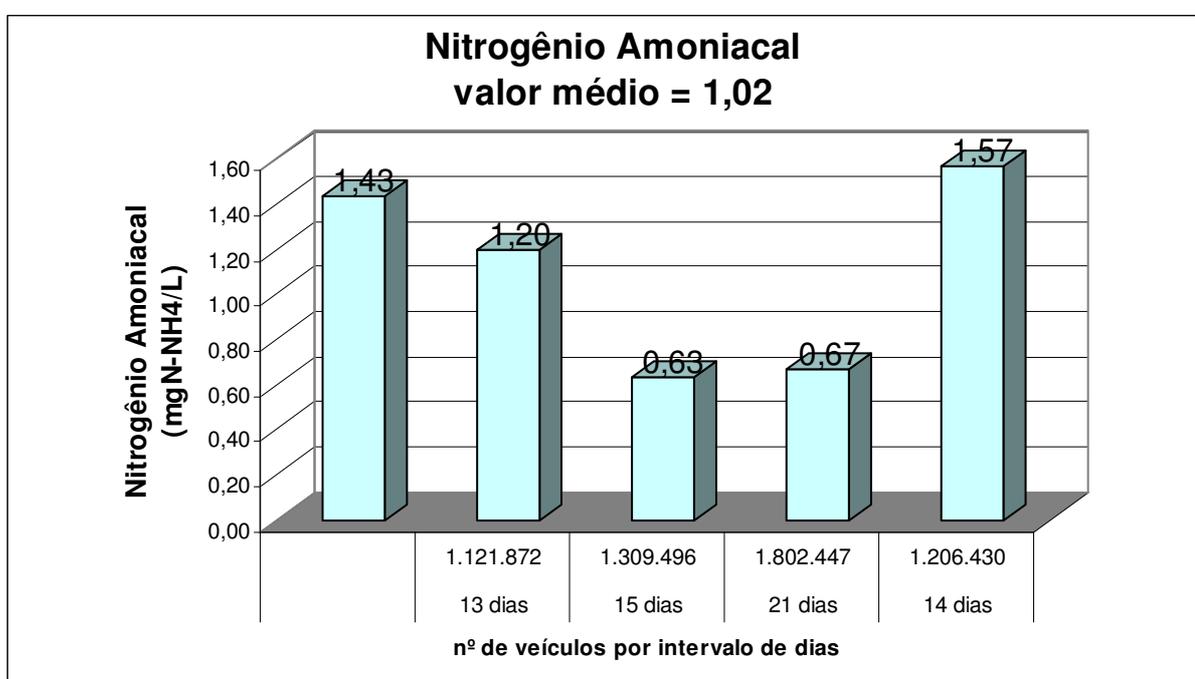


**Figura 6.8. Variação do valor de óleos e graxas e o total de veículos que circularam naquele intervalo de tempo.**

## 6.8. NITROGÊNIO AMONÍACAL

Dentro do ciclo do nitrogênio na biosfera, este alterna-se entre várias formas e estados de oxidação. No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado como nitrogênio molecular,

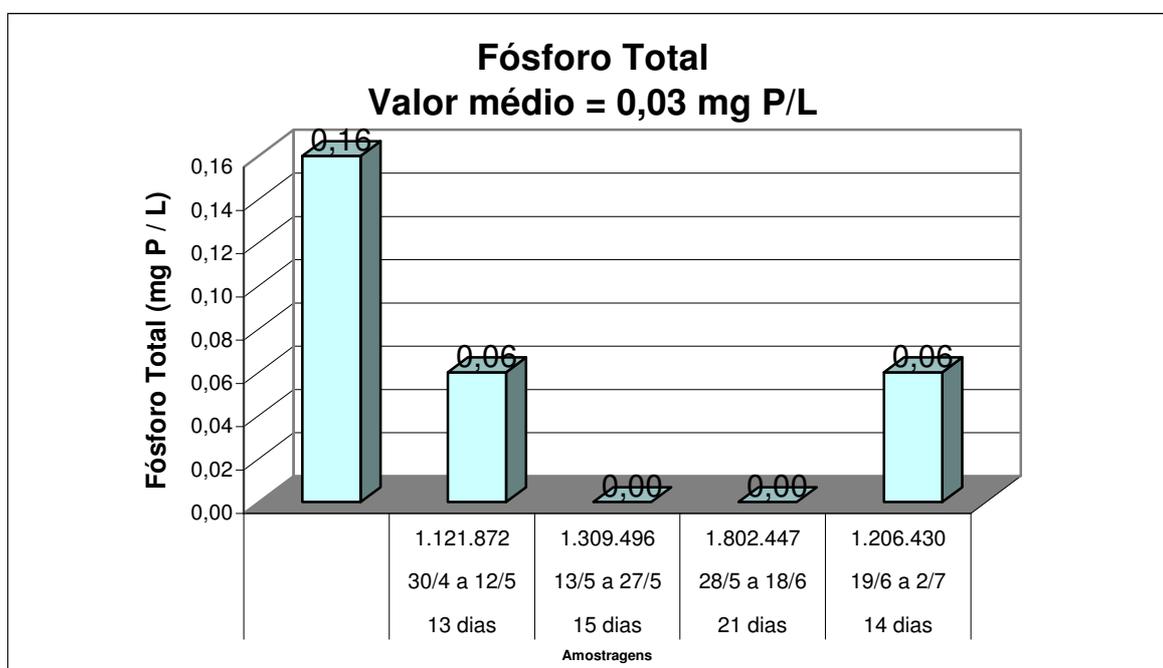
escapando para a atmosfera, como espécies iônicas (nitritos e nitratos), como nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão) como amônia, entre outras. Nesse estudo houve interesse em determinar o nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), pois o nitrogênio é também constituinte de vários aditivos para combustíveis, com as mais variadas funções na combustão dentro dos motores. Porém o estudo se preocupa com o teor de nitrogênio enquanto nutriente para a biota no ambiente onde ele se encontra. Os resultados das águas de lavagem indicam que o parâmetro está um pouco acima, 1,02 mg/L, do que recomenda a legislação federal, 0,4 mg/L, para águas da classe 4 (águas doces de uso menos nobres, como para diluição de efluentes) e também da classe 7 (águas salobras, como é o caso do corpo d'água receptor, na área do estudo, a LRF). Quanto ao comportamento do parâmetro no que diz respeito ao número de veículos houve uma redução exatamente quando o nº de veículos aumentou e subiu bem quando o nº de veículos diminuiu independente do intervalo de dias, lavando-se a crer que a principal fonte desse parâmetro não está ligada diretamente ao desgaste pela rodagem dos veículos na pista e sim a outras origens, como por exemplo as emissões para atmosfera dos próprios veículos, as deposições trazidas pelas precipitações de chuvas, entre outras.



**Figura 6.9.** Variação do valor de nitrogênio amoniacal e o total de veículos que circularam naquele intervalo de tempo.

## 6.9. FÓSFORO TOTAL

Assim como o parâmetro anterior, também é um nutriente, e pode ser encontrado sob várias formas no ambiente, como as espécies iônicas (polifosfatos, ortofosfatos, fosfitos) e como fósforo orgânico. É componente de aditivos para óleos lubrificantes de motores, e outras funções na combustão automotiva. O fósforo e o nitrogênio são essenciais na constituição das estruturas biológicas e seu monitoramento é importante na indicação do grau de eutrofização de um corpo d'água. Observa-se que não há correlação entre quantidade de veículos, intervalo de tempo e a concentração do parâmetro, também neste caso, pelos resultados obtidos, acredita-se que a fonte principal de fósforo não está no tráfego de veículos. Certamente vem de outras origens.



**Figura 6.10. Variação do valor de fósforo total e o total de veículos que circularam naquele intervalo de tempo.**

## 6.10 COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (BTEX)

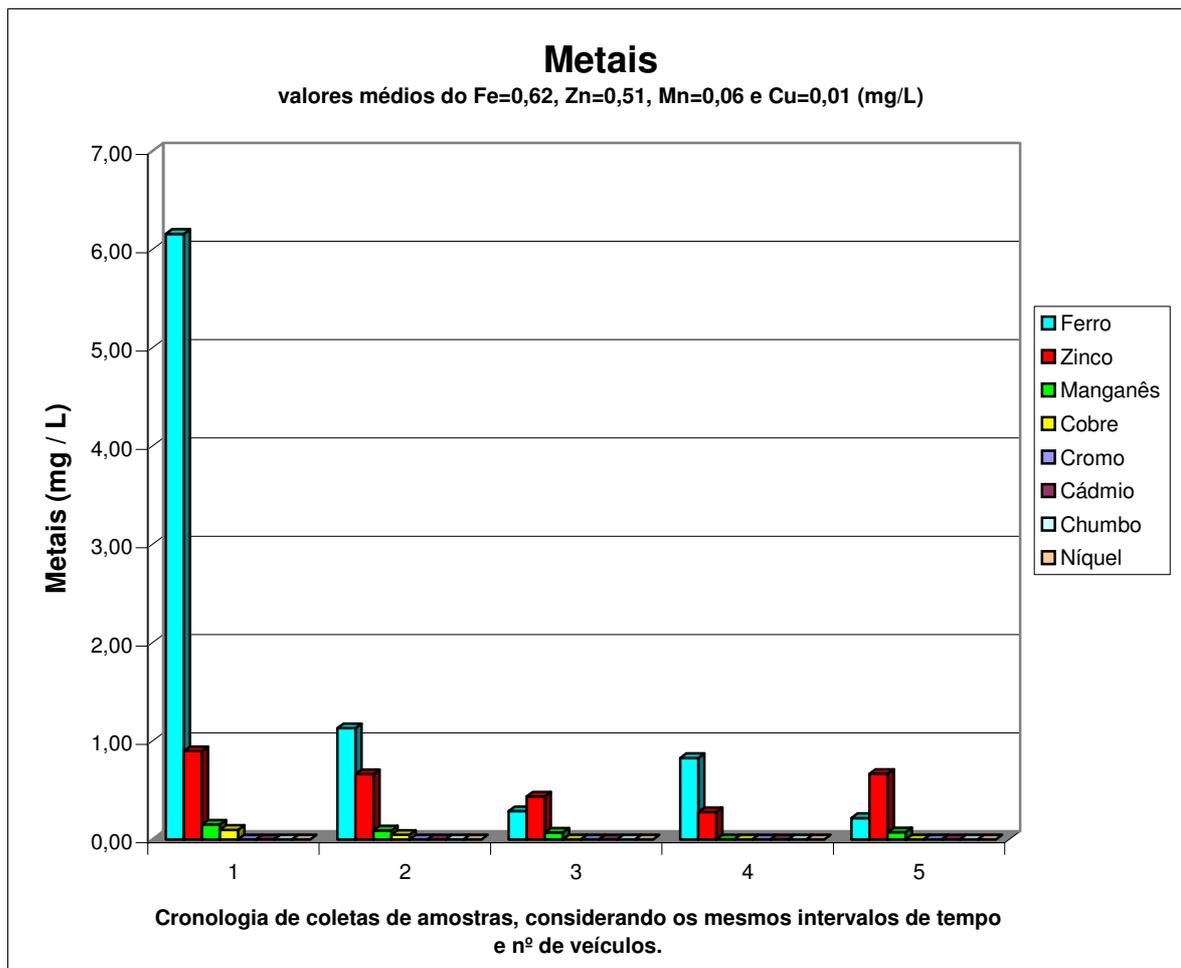
Os compostos orgânicos voláteis também foram investigados, porém não tendo condições de fazer uma varredura completa em todos os parâmetros escolheu-se o parâmetro BTEX, por saber-se que são componentes dos combustíveis. As análises revelaram que as 15 amostras submetidas ao instrumental de CG-MS não apresentaram estes poluentes, tanto nas

águas de lavagem de pisos como também nas águas pluviais. Isto indica que a poluição das águas pluviais diretamente por combustíveis é desprezível.

### **6.11. METAIS**

Os metais são sempre uma preocupação, a dispersão de metais para o ambiente envolvente faz-se por via aérea e pelas águas no escoamento superficial. Algumas fontes de metais são : Cromo - peças galvanizadas, anéis, freio, Chumbo – óleo de motor, mancais, Níquel – freios, Zinco – óleo de motor, pneus e outras ligas metálicas da carcaça do veículo.

As análises revelaram a presença de alguns metais como ferro e zinco porém dentro dos limites admitidos pela legislação federal, o ferro apresentou 0,62 mg/L e o zinco apresentou 0,51 mg/L, nas águas de lavagem de piso e 6,68 mg/L para o ferro e 0,43 mg/L para o zinco.



**Figura 6.11. Variação do valor de metais e o total de veículos que circularam naquele intervalo de tempo.**

O artigo nº 21 do CONAMA nº 20/86 estabelece que o teor de ferro em efluentes lançados é de no máximo 15 mg/L e para o zinco 5 mg/L. Não foram observados aumentos significativos nas concentrações dos metais presentes em função da variação do nº de veículos e intervalo de tempo. Isto indica que a contribuição de depósitos de metais decorrente do tráfego de veículos é pequena.

Conforme relatado anteriormente, durante o período de levantamento de dados de campo para o estudo, houve um tempo de estiagem grande e como todo fenômeno natural não é totalmente previsível, embora ficasse atento às previsões meteorológicas de noticiários nos meios de comunicação e da GEO-RIO, foram poucos os eventos de precipitações de chuvas durante o período de estudo. Sabe-se que tem relativa representatividade, pois o número de amostras é pequeno quando comparado com os registrados na literatura onde fez-se extensa coleta de dados realizadas pelo Environmental Protection Agency of United States (USEPA)

através do National Urban Runoff Program (NURP) em 1981 e 1982 (ELLIS, 1986; NOVOTNY, 1992). Resguardadas as diferenças infraestruturais de recursos materiais e apoio técnico que um trabalho de pesquisa dessa envergadura requer, obteve-se resultados analíticos dos parâmetros, que podem servir de base para fazer uma avaliação quantitativa estimada da carga total de um determinado poluente lançado no sistema de drenagem urbano pelo escoamento superficial de águas pluviais numa determinada área. Pode-se calcular a concentração média no evento (CME) de um poluente.

Como exemplo determinar o teor de zinco presente no escoamento superficial na pista de 1,5 Km de extensão, à frente da galeria L2 do Túnel Antônio Rebouças cuja drenagem pluvial é contribuinte da bacia hidrográfica da Lagoa Rodrigo de Freitas. Para isso faz-se algumas considerações, usam-se dados contidos nas **Tabelas 3.5 e 3.6** citadas neste trabalho, que fundamentam-se em uma imensa base de dados originada em estudos sobre concentração de poluentes em drenagem pluviais.

Este cálculo pode ser efetuado para determinação quantitativa de outros poluentes, que são igualmente cumulativos e que constem na referida tabela.

A questão pode ser formulada do seguinte modo: Qual é a estimativa da concentração média de zinco no lançamento de uma rede de drenagem que atende a uma área urbana com extensão de rua de 1,5 km e largura de 9,6 m ? Sabe-se que há 20 dias não chove (de 25/04 a 15/05/04), e que a única fonte de zinco provém daquele que acumula-se sobre a superfície da rua; outro dado é o índice pluviométrico registrado no período, que é igual a 15,2 mm/h.

De acordo com dados da **Tabela 3.5**, uma chuva com este índice pluviométrico é capaz de remove 90% do material particulado depositado sobre a superfície da rua, ou seja é preciso um escoamento total equivalente a 15,2 mm/h. Sabe-se também que segundo WANIELISTA e YOUSEF (1993), o valor médio de acumulação de poluentes nas ruas pode ser obtido consultando a **Tabela 3.6.**; no caso do poluente zinco o valor médio de acumulação na rua é 0,023 kg/km de sarjeta por dia.

Conhecendo estes dados resolve-se o problema, conforme demonstrado na seguinte memória de cálculo:

1) Cálculo do valor de concentração média de acumulação de zinco na extensão total das ruas:

Se 1 Km \_\_\_\_\_ 0,023 Kg de Zn **(Tabela 3.6.)**  
 em 1,5 Km \_\_\_\_\_  $X = 0,0345$  Kg de Zn = ( $M_{Zn}$ )

**2) Cálculo da carga total de zinco ( $L_{Zn}$ ):**

Carga total( $L_{Zn}$ ) = carga média (Kg/Km.sarjeta.dia) x (extensão total x duas guias) x n<sup>o</sup> de dias sem chover.

$$L_{Zn} = 0,023 \text{ Kg/Km.dia} \times (1,5 \text{ Km} \times 2 \text{ guias}) \times 20 \text{ dias} , \text{ donde } L_{Zn} = 1,38 \text{ Kg}$$

**3) Cálculo da massa total de zinco efetivamente removida ( $M_{Zn}$ ), que é 90% de  $L_{Zn}$  da carga total: **(Tabela 3.5.)****

$$M_{Zn} = 1,38 \text{ Kg} \times 0,9 = 1,242 \text{ Kg}$$

**4) Cálculo da área total escoada:**

Área = extensão da rua x largura da mesma

$$S = 1500\text{m} \times 9,60 \text{ m} , \text{ onde } S = 14400 \text{ m}^2$$

**5) Cálculo do volume total escoado:**

Volume ( $m^3$ ) = a área total( $m^2$ ) x a medida da altura (mm) correspondente ao índice pluviométrico do evento.

$$V = 14400 \times 15,2 = 218,880 \text{ m}^3$$

**6) Cálculo da concentração média no evento do zinco, (em 20 dias cumulativos)**

Concentração do zinco = massa de zinco removida / volume total escoado

$$C_{Zn} = 1,242 \text{ Kg} / 218,880 \text{ m}^3 \text{ onde } C_{Zn} = 0,00567 \text{ g/L} \text{ ou } \mathbf{CME_{Zn} = 5,67 \text{ mg/L}}$$

Para a quantificação de poluentes presentes nas águas de lavagens de pisos no eixo viário, recorreu-se a um dado, fornecido pelo órgão oficial de controle e monitoramento de eventos meteorológicos do Município do Rio de Janeiro a GEO-RIO, que informa para se ter uma noção de grandeza, que “cada 1 mm de índice pluviométrico equivale à 1 litro de água por metro quadrado” (1 mm corresponde à 1L/m<sup>2</sup>).

Baseado nisto, determina-se a massa de alguns poluentes encontrados na área do eixo viário em estudo, correlacionados ao volume de tráfego médio diário, obtendo-se em última instância a quantidade desses resíduos poluentes depositados por veículo/dia na área do eixo viário submetido ao estudo. O desenvolvimento desses cálculos está no anexo deste trabalho. A **Tabela 6.6** apresenta as quantidades de alguns poluentes depositados por veículo/dia na extensão do eixo viário pesquisado (28512 m<sup>2</sup>), ao longo do tempo de duração do estudo (63 dias).

**Tabela 6.6 – Apresenta quantidades de alguns poluentes depositados por veículo/dia, na área de pista estudada.**

<b>Poluente</b>	<b>Massa (mg) de poluente por veículo/dia</b>
<b>Óleos e Graxas</b>	1,20
Demanda Química de Oxigênio, <b>DQO</b>	2,70
Sólidos Totais, <b>ST</b>	9,40
Sólidos Totais em Suspensão, <b>SST</b>	0,90

## CAPÍTULO 7. CONCLUSÕES e RECOMENDAÇÕES

Este trabalho, ainda que localizado, traz intrínseco na sua estrutura uma abrangência bem mais ampla, na medida em que permite fazer algumas previsões do ponto de vista ambiental. Ressalta-se ainda sua importância em termos de qualidade das águas de outros corpos d'água receptores, sejam estes superficiais ou subterrâneos, que estejam no mesmo contexto, e em outras áreas urbanas do Estado ou do País, cujos volumes de tráfego médio diários são também intensos.

No tocante aos aspectos relacionados à forma de amostragens de águas pluviais nos bueiros, e a maneira de calcular as concentrações de parâmetros sanitários de efluentes pluviais, para avaliação de carga total de poluentes, são conhecidas e relatadas na literatura. Entretanto, reveste-se de um cunho novo e possivelmente inédito, a forma adotada para fazer amostragens de águas de lavagem de pavimentação na área de estudo. Este é um dos pontos relevantes deste trabalho uma vez que apresenta uma nova metodologia de como fazer amostragens em áreas não atingidas por eventos naturais de precipitação pluviométricas, como túneis, galerias, corredores rodoviários subterrâneos.

Os resultados dos parâmetros apresentados neste trabalho retratam a situação de um segmento da drenagem contribuinte da bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas, mas percebe-se o quanto esses dados permitem lucubrar sobre as questões que envolvem a qualidade das águas de toda a bacia hidrográfica da lagoa.

Observa-se que variação ocorrida no volume médio tráfego diário, ao longo do tempo, não tem correlação direta com a maioria dos parâmetros estudados. De forma geral, há uma tendência dos valores dos parâmetros reduzirem e manter-se num patamar de concentração uniforme onde acumulam-se novamente, cujo perfil gráfico assemelha-se muito ao observado nos resultados das análises dos parâmetros do primeiro dia de coleta.

Nas águas de lavagem de piso, observa-se que o pH varia e indica sempre valores na faixa ácida independente do número de veículos que circularam e do tempo, uma explicação plausível está na possibilidade de ocorrer reações entre os gases (óxidos) da combustão e o vapor d'água da própria descarga e mesmo do ar confinado no interior do túnel, produzindo ácidos fixos que precipita e ataca as superfícies do túnel.

A condutividade relativamente alta é outro indicativo de que pode estar havendo deposição de substâncias dissociadas ou de agregados iônicos na pista, originados por hipótese em acidentes no trânsito, eventuais derrames no túnel ou mesmo da própria

deposição seca e a umidade relativa no túnel. É possível haver desvios temporais para outros parâmetros, como é o caso do parâmetro óleos e graxas registrou valores acima dos limites estabelecidos pela legislação. A DQO total, os sólidos totais e os sólidos em suspensão totais apresentam um perfil médio de gráfico semelhante, e que após pequena redução manteve-se relativamente nivelado, o que indica que a quantidade de material orgânico que deposita na via é aproximadamente igual.

Apesar do teor de nitrogênio ter apresentado valor um pouco acima do permitido pela legislação não compromete o sistema, porque pode ser adsorvido ao longo das galerias e drenagem.

Pode-se dizer que para o fósforo praticamente não revelou sua presença no estudo.

Os metais que aparecem nos pontos analisados no eixo viário, são o ferro, o zinco, em menor quantidade manganês e cobre. Entretanto todos com valores abaixo dos limites permitidos pela legislação

A caracterização de efluentes por análises físico-químicas para determinação das concentrações dos parâmetros, embora seja uma atividade laboriosa, se constitui num procedimento capaz de elucidar os vários aspectos inerentes a qualidade e estado de preservação dos corpos d'água, nos ambientes naturais ou urbanos.

Os objetivos deste trabalho foram plenamente consubstanciados nos resultados das análises dos parâmetros de qualidade dos efluentes, sendo atendidos na medida em que revelou qualitativa e quantitativamente a contribuição dos resíduos poluentes deixados pelo tráfego de veículos na área de estudo.

A principalmente recomendação está relacionada à possibilidade de novas campanhas de monitoramento como forma de se consolidar os dados aqui obtidos. Há que se observar os aspectos relativos à segurança para se estabelecimento de pontos de amostragem.

Fazer amostragem em outras vias controladas, com condições particulares que permitam fazer este estudo, como a Ponte Presidente Costa e Silva (a Ponte Rio-Niterói)

Como forma de minimizar os impactos causados por esse tipo de poluentes sugere-se verificar a possibilidade de fazer um tratamento primário no sentido de reduzir a carga orgânica e diminuir os sólidos totais do efluente. Neste caso, há que se ressaltar a não disponibilidade de área para tal. Nesta região o mais indicado seria a coleta desses efluentes e posterior lançamento no sistema de disposição oceânica (Emissário Submarino de Ipanema).

Havendo possibilidade, realizar estudos que possam dar informações do real potencial de impacto dos lançamentos no conjunto lagoa e praias próximas.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AMBIENTAL, 2001, Engenharia e Consultoria Ltda. Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) da Solução Integrada de Reabilitação Ambiental da Lagoa Rodrigo de Freitas e das Praias de Ipanema, Leblon e Arpoador, PCRJ/SMAC/RIO-ÁGUAS.

ANA, Agência Nacional de Águas, <http://www.ana.gov.br>, site acessado em setembro de 2004

ANFAVEA, 2000, Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, Anuário Estatístico da Indústria Automobilística Brasileira.

ANTP, Associação Nacional dos Transportes Públicos, <http://www.antp.gov.br/telas/transporte>, site acessado em setembro de 2003

APHA, AWWA, WPCF., 1998, Standart Methods for Examination of Water and Wastewater. NY, 20<sup>th</sup> ed.

ARMY, G. et al., 1974, Water quality management planning for urban runoff. Report no. USEPA (EPA Report 440/9-75-004). Office of Planning Standards, Washington, D.C., December.

ASCE., 1992, Design and Construction of Urban Stormwater System. Manual of Practice n. 77. American Society of Civil Engineers, New York.

BAIRD, C., 2002, Química Ambiental, 2ª edição, Bookman Cia. Editora, Porto Alegre, RS, 662p.

BARBOSA, A.E., LEITÃO, T., HVITVED-JACOBSEN, T. e BANK, F., 2003, Características de Águas de Escorrências de Estradas e Minimização dos Seus Impactes. Divisão de Edições e Artes Gráficas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Lisboa, Portugal.

BENNETT, E.R.; LINSTEDT, K.D, 1978, Pollutional characteristics of stormwater runoff. Colorado Water Resources Institute Completion Report no. 84. Colorado State University, Fort Collins, Colorado. September, 204p.

BÖHM, G.M., 1998, Poluição e Meio Ambiente, Como os Principais Poluentes Provocam Doenças, Publicação do Laboratório de Assessoria Administrativa e Jurídica, <http://www.unifran.br/daltro/site/juridico/textos/poluição-meioambiente.doc>, acessado em setembro de 2004.

BRADY et HOLUM, 1996, Chemistry – The Study of Matter and Its Changes, Wiley.

BRAILE, P.M.; CALVALCANTI, J.E.W.A.,1993, Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais, São Paulo, CETESB.

BRITO FILHO, F.S., 1971, O Saneamento da Lagoa Rodrigo de Freitas. Rio de Janeiro, Escritório Saturnino de Brito, 1v. il.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo, <http://www.cetesb.sp.gov.br>, site acessado em outubro de 2003

COLE, G., 1983, Textbook of Limnology. C.V. Mosby Company, Toronto, 401 p.

COSTA, H. e TEUBER W., 2001, Enchentes no Estado do Rio de Janeiro - Uma Abordagem Geral, Cooperação Técnica BRASIL-ALEMANHA, SERLA, Projeto PLANÁGUA-SEMADS / GTZ, 160p.

CONSÓRCIO COPPETEC/LOGOS, 2001, Relatório Final de Auditoria Ambiental, Realizada na Bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas e Sub-bacia do Rio Rainha SERH/CEDAE, RJ, CD-ROM

D'ALCANTARA, W.B., 2003, Análise Crítica do Sistema de Coleta de Esgotos Sanitários da Bacia Contribuinte à Lagoa Rodrigo de Freitas Através da Avaliação de Fatores Que Influenciam Sua Vulnerabilidade. Dissertação de Mestrado, FEUERJ, UERJ.

DETRAN-RJ, 1999, Departamento Estadual de Trânsito do Rio de Janeiro

DESCHAMPS, J.D., 1996, Depolluer Les Eaux Pluviales, Contribution à l'élaboration d'une stratégie, Publication d'O.T.V., Paris, France. 349p.

DERISIO, C.D., e SOUZA, H.B., 1977, Guia Técnico de Coleta de Amostra de Água, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, CETESB, São Paulo.

DIAS, A. P., 2002, Análise da Interconexão dos Sistemas de Esgotos Sanitário e Pluvial da Cidade do Rio de Janeiro: Valorização das Coleções Hídricas sob Perspectiva Sistêmica. Dissertação de Mestrado, FEUERJ, UERJ.

DORNIGIAN A.S., CRAWFORD N.H., 1976, Modeling non-point pollution from the land surface. USEPA (Report EPA-600/3-76-083). Office of Research and Development. Environmental Research Laboratory, Athens. Geórgia.

DRISCOLL, E., SHELLEY, P.E. e STRECKER, E.W., 1990, Pollutant Loadings and Impacts from Highway Stormwater Runoff. Publicação da Federal Highway Administration nº FHWA/RD-88-006-9, Woodward-Clyde Consultants, Oakland, CA.

DRIVER, N. E. e TASKER, G.D., 1990, Techniques for estimation of Stormrunoff Loads, Volumes and Selected Constituent Concentrations in Urban Watersheds in the United States, U.S., Department of Transportation, Washington, 457 pp.

ELLIS, J.B., 1986, Pollutional aspects of urban runoff. In: Urban Runoff Pollution, Torno, H.C. et al., eds. NATO ASI series vol.10, Springer-Verlag, Berlin, pp. 1-38.

ESTEVEZ, F.A., 1988, Fundamentos de Limnologia. Ed. Interciência / FINEP, 575 p.

FARRET, Ricardo L., 1984, Impactos sobre a estrutura urbana de intervenção no sistema de transporte, Revista dos Transportes Públicos, nº 26. ANPT, São Paulo.

FEEMA, Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, <http://www.feema.rj.gov.br>, site acessado em outubro de 2004

FERRARA, R.A., 1986, Toxic pollutants impact and fate in receiving waters In: Urban Runoff Pollution, Torno, H. C. et al ;. eds.. NATO ASI series vol.10, Springer-Verlag, Berlin, pp. 423-462.

FHWA (1996), Evaluation and Management of Highway Runoff Water Quality. Publication of Federal Highway Administration nº FHWA-PD-96-032, U.S. Department of Transportation, Washington, 457 pp.

FILHO, D.F.S., 1976, Tecnologia de Tratamento de Água, Almeida Neves Editora Ltda, 251p.

GEO-RIO, Fundação Instituto de Geotécnica, <http://www2.rio.rj.gov.br/georio>, acessado em junho de 2004

HEANEY., N.S.J., 1976, Stormwater Management Model: Level I - Comparative evaluation of storage-treatment and other management practices. USEPA (EPA Report 600/2-77-083), Cincinnati, October.

HEC., 1977, STORM - Storage, Treatment, Overflow, Runoff Model: generalized computer program 723-S8-L7520. US Army Corps of Engineers, Davis.

HUBER, W.C., 1986, Modeling urban runoff quality: state-of-the-art. In: Urban Runoff Quality - Impact and Quality Enhancement Technology. Urbonas, B., Roesner, L.A., eds.. American Society of Civil Engineers, New York, pp. 34-48.

HUBER, W.C.; DICKINSON, R.E., 1988, Storm Water Management Model-Version 4. User's manual. USEPA (EPA Report 600/3-88-001a). Athens, GA.

HVITVED-JACOBSEN, T., 1986, Conventional pollutant impacts on receiving waters. In: Urban Runoff Pollution, Torno, H.C., Marsalek, J., Desbordes, M., eds..NATO ASI series vol. 10, Springer-Verlag, Berlin, pp. 345-378.

IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente, <http://www.ibama.gov.br>, acessado em agosto de 2003

IBGE, 2000, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Base de Informações por Setor Censitário – Censo Demográfico 2000. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.2 CD-ROM.

IPP, 1998, Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos. Anuário Estatístico da Cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, IPP/PCRJ, 2000, 864p.

JOHANSON, R.C., IMHOFF, J.C.; DAVIS, H.H., 1984, User's manual for hydrological Simulation Program Fortran - HSPF. User's manual for release 8.0. USEPA (EPA Report 600/3-84-066), Athens, GA.

JONES, J.E.,1986. Urban runoff impacts on receiving waters. In: Urban Runoff Quality - Impact and Quality Enhancement Technology. Urbonas, B., Roesner, L.A., eds.. American Society of Civil Engineers, New York, pp. 192-216.

KAIPPERT, E. 2004, Metodologia para estudo de ressuspensão de sedimentos na Lagoa Rodrigo de Freitas. Dissertação de Mestrado, PEAMB/UERJ, 56p.

LAGER, J.A., 1977, Urban stormwater management and technology: update and user's guide,-. USEPA (EPA Report 600/8-77-014). Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio, September.

LEI FEDERAL, n<sup>o</sup> 9433 de 08/01/1997, Instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos.

LORA, E.E.S.,2002, Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte, 2<sup>a</sup> ed., Rio de Janeiro, Editora Interciência Ltda, 482p.

LUDWIG, R.G. e SELLECK, R.E.,1971, Problemas de poluição de água na Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, OPAS/IES, 71 p.

MANCINI. I.L., PLUMMER, A.H.,1986, Urban runoff and water quality criteria. In: Urban Runoff Quality - Impact and Quality Enhancement Technology. Urbonas, B. Roesner, L.A., eds. American Society of Civil Engineers, New York, pp. 133-149.

MANUAL GLOBAL de ECOLOGIA,1996, Editora Augustus.

MARCONDES, B., 1976, Notas de Aula, Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental, Faculdade de Engenharia, UERJ, 23p., Rio de Janeiro.

MARCONDES, E.,1994, Poluentes Atmosféricos, Editora Scipione.

MARSALEK, J., 1986, Toxic contaminants in urban runoff: a case study In: Urban Runoff Pollution, Torno, H.C. et al., eds..NATO ASI series vol. 10, Springer-Verlag, Berlin, pp. 39-57.

MARTINS. R.H.O. *et al.*, 1991. Carga poluidora difusa gerada na Região Metropolitana de São Paulo. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos 9, Anais. Associação Brasileira de recursos Hídricos, Rio de Janeiro, vol.2, pp. 27-36.

MCELROY, A.D., 1976. Loading junctions for assessment of water pollution from non-point sources. USEPA (EPA Report 600/2-76-151). Office of Research and Development. Washington, D.C., May

METCALF & EDDY, 1972, Inc. Wastewater Engineering: Collection, Treatment, Disposal. New York, MacGraw-Hill.

MOREIRA-NORDEMANN, L.M. *et al.*, 1983, Análise química preliminar das águas de chuva de Cubatão-Impactos Ambientais. In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos. Anais Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Blumenau, vol.3. pp.339-350.

MOTA, S., 1988, Preservação de Recursos Hídricos, ABES.

NIX, S.J., 1991, Applying urban runoff models. *Water Environment & Technology*, vol. 3, nº.6, pp. 47-49.

NIX. S.J.,1994, Urban Stormwater Modelling and Simulation. Lewis Publisher, Boca Raton. 212p.

NOVOTNY, V., 1991, Urban diffuse pollution: sources and abatement. *Water Environment & Technology*, vol.3. nº. 12, pp.60-65.

NOVOTNY, V.. 1992. Unit pollutant loads: their fit in abatement strategies. *Water Environment & Technology*,. vol. 4, nº. 1. Janeiro. pp. 40-43.

NOVOTNY, V.; CHESTERS, G..1981. Handbook of Non-point Pollution: Sources and Management. Van Nostrand-Reinhold, New York. 1981, 555 p.

NUNES, J. A.,1993, Tratamento Físico-Químico de Efluentes Industriais. Aracaju, SE.

N.T.U., Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos; <http://www.ntu.org.br>, site acessado em setembro de 2004.

OHANSON, R.C., IMHOFF, J.C.; DAVIS, H.H., 1984, User's manual for hydrological Simulation Program Fortran - HSPF. User's manual for release 8.0. USEPA (EPA Report 600/3-84-066), Athens, GA.

OSBORNE, L.L., HERRICKS. E.E., 1989, Habitat and water quality considerations in receiving waters. In: Design of Urban Runoff Quality Controls. Roesner. L.A. et al., eds.. American Society of Civil Engineers, New York, pp. 29-47.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 20, de 18 de junho de 1986; Publicado no D.O.U. de 30/07/86, <http://www.mma.gov.br>, site acessado em setembro de 2004

ROESNER. L.A. et al., 1988, Storm Water Management Model - Version 4. User's manual addendum I, EXTRAN. USEPA (EPA Report 600/3-88-001b). Cincinnati, August.

ROSSO, T.C.A., 2002, Relatório Fotográfico da Lagoa Rodrigo de Freitas, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental – PEAMB/UERJ, Rio de Janeiro, 43 p.

ROSSO, T.C.A., CIRILO, J.A., 2003, A gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas costeiras: Desafios atuais. II Congresso sobre Planejamento e Gestão da Zona Costeira dos Países de Expressão Portuguesa, Anais, Recife, 10p.

SANDERS III, W.M., 1976, Non-point source modeling for section 208 planning. In: Non-point source pollution control seminar. Best management practices. USEPA (EPA Report 905/9-76-005). Office of the Great Lakes Coordination, Chicago, November, pp. 231-250.

SARTOR. J.D., BOYD, G.B., AGARDY. F.J., 1974, Water pollution aspects of Street Surface Contaminants. Journal of the Water Pollution Control Federation. Washington, vol.46, no.3. Marco, pp. 458-467.

SCHWOERBEL, J., 1984, Einführung in die Limnologie. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 233 p.

SERLA, Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas, <http://www.serla.rj.gov.br>, site acessado em setembro de 2003

SMAC, Secretaria Municipal de Meio Ambiente, <http://www.rio.rj.gov.br/semac>, acessado em junho de 2003

SMTR, Secretaria Municipal de Transportes do Rio de Janeiro, <http://www.rio.rj.gov.br/smtr>, site acessado em setembro de 2004

TUCCI, C.E.M., MARQUES, D.M.L., 2000, Avaliação e Controle da Drenagem Urbana, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1ª Edição, 558 p.

TUCCI, C.E.M., MARIO, T.B.E, PORTO, R.L., 1995, Drenagem Urbana, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1ª Edição, 428 p.

URBAN DRAINAGE and FLOOD CONTROL DISTRICT., 1992, Urban Storm Drainage Criteria Manual. Vol. 3 - Best Management Practices Urban Drainage and Flood Control District, Denver, Colorado.

URBONAS. B.: STAHR. P., 1993, Stormwater - Best Management Practices and Detention for Water Quality Drainage and CSO Management. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, 449p.

USEPA, 1986, Environmental Protection Agency of United States, Methodology for Analysis of Detention Basins for Control of Urban Runoff Quality, USEPA 440/5 – 87 – 001, pp. 51.

VAZ, M. C. T. A. , 1976, Química Aplicada à Engenharia Sanitária, Editora da Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 308p

VON SPERLING, E., 1999, Morfologia de Lagos e Represas, Belo Horizonte, DESA/UFMG, 138p

VON SPERLING, M., 1996, Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos, Belo Horizonte, DESA/UFMG, 243 p, V.1

WANIELISTA. M. P., YOUSEF, Y. A., 1993, Stormwater Management. New York: John Wiley. 579 p.

WETZEL, R.G., 1983, Limnology. Sounders Company, Philadelphia, 767 p.

## 9. ANEXO

### DETERMINAÇÃO DA CARGA POLUENTE DIÁRIA DE ALGUNS DOS PARÂMETROS ANALISADOS NA ÁREA DO EIXO VIÁRIO

Determinação da carga poluente diária de alguns dos parâmetros analisados na área do eixo viário estudado. Os parâmetros escolhidos para o cálculo da carga poluente diária são: óleos e graxas, demanda química de oxigênio, DQO, sólidos totais, ST e os sólidos em suspensão totais, SST. Entretanto aplica-se a mesma forma de calcular a carga poluente para qualquer um dos outros parâmetros cumulativos. Este cálculo tem por objetivo avaliar, principalmente nos períodos de estiagem de chuvas ou em locais que não são atingidos pelas chuvas diretamente, a quantidade de poluentes que potencialmente poderiam chegar até o corpo d'água receptor correlacionados ao volume do tráfego médio diário de veículos (é necessário o controle quantidade de veículos), permitindo avaliar o teor de poluente depositado no eixo viário por veículo/dia.

Usa-se como valores de concentrações analíticas dos parâmetros escolhidos para determinação, o resultado obtido na média geral entre as médias aritméticas dos valores de concentrações analíticas encontradas para cada poluente e considera-se a partir da segunda vez que fez-se amostragem no local (**Tabela 6.3**), cujos valores são: óleos e graxas é igual a 29 mg/L, DQO é igual a 66 mg/L, ST é igual a 225 mg/L e SST é igual a 22 mg/L. O desenvolvimento dos cálculos são apresentados adiante.

#### **Dados do problema:**

Comprimento do Túnel, adicionado o trecho externo entre galerias L2 e R2: 2970 m.

Largura da faixa de pista estudada: 3,20 m

Área da faixa (**1/3 da pista**):  $2970 \times 3,20 = 9504 \text{ m}^2$

Área total do túnel (**3 faixas**):  $9504 \times 3 = 28512 \text{ m}^2$



1 faixa \_\_\_\_\_ 2,2 kg de óleos e graxas/63 dias

**3 faixas \_\_\_\_\_ z = 6,6 kg de óleos e graxas/63 dias**

4) Cálculo do nº de veículos que circulam por dia no eixo viário:

63 dias \_\_\_\_\_ 5440245 veículos

**1 dia \_\_\_\_\_ X = 86353 veículos**

5) Cálculo da quantidade de poluente correspondente a 86353 veículos/dia:

5440245 veículos/63 dias \_\_\_\_\_ 6,6 kg de óleos e graxas

**86353 veículos/dia \_\_\_\_\_ Y = 0,105 kg de óleos e graxas**

6) Cálculo da quantidade de poluente por veículo/dia:

86353 veículos/dia \_\_\_\_\_ 0,105 kg de óleos e graxas

**1 veículo/dia \_\_\_\_\_ Z = 1,2 x 10<sup>-6</sup> kg ou 1,20 mg de óleos e graxas**

*Resolvendo para determinar o teor de DQO.*

1) Do mesmo modo, tem-se 8 litros do efluente de piso contendo os poluentes e o quadro de metal delimita 1 m<sup>2</sup> de área na pista. As concentrações reveladas pelas análises dos parâmetros eram dadas em miligramas por litro (mg/L); então calcula-se a concentração do parâmetro no volume de 8 L.

1L \_\_\_\_\_ 66 mg/L.m<sup>2</sup> de DQO (Tabela 6.3.)

8L \_\_\_\_\_ x = 528 mg/L.m<sup>2</sup>

Se 1 mm equivale **1L/m<sup>2</sup>** (GEO-RIO, 2004), depreende-se que: **8L/m<sup>2</sup>** contém 528 mg

**1 m<sup>2</sup> \_\_\_\_\_ 528 mg** de DQO por 63 dias

2) Cálculo da concentração de poluente, presente na área total da faixa (1/3 de pista):

$$1 \text{ m}^2 \text{ _____ } 528 \text{ mg de óleos e graxas por 63 dias}$$

$$9504 \text{ m}^2 \text{ _____ } y = 5,02 \text{ kg de DQO por 63 dias}$$

3) Cálculo da quantidade de poluente depositada nas 3 faixas da pista (área de estudo 28512 m<sup>2</sup>) por 63 dias:

$$1 \text{ faixa _____ } 5,02 \text{ kg de DQO/63 dias}$$

$$3 \text{ faixas _____ } z = 15,06 \text{ kg de DQO/63 dias}$$

4) Cálculo do nº de veículos que circulam por dia no eixo viário:

$$63 \text{ dias _____ } 5440245 \text{ veículos}$$

$$1 \text{ dia _____ } X = 86353 \text{ veículos}$$

5) Cálculo da quantidade de poluente correspondente à 86353 veículos/dia:

$$5440245 \text{ veículos/63 dias _____ } 15,06 \text{ kg de DQO}$$

$$86353 \text{ veículos/dia _____ } Y = 0,239 \text{ kg de DQO}$$

6) Cálculo da quantidade de poluente por veículo/dia:

$$86353 \text{ veículos/dia _____ } 0,239 \text{ Kg de DQO}$$

$$1 \text{ veículo/dia _____ } Z = 2,7 \times 10^{-6} \text{ kg ou } 2,70 \text{ mg de DQO}$$

### ***Resolvendo para determinar o teor de S.T***

1) De forma idêntica para os sólidos totais (ST), tem-se 8 litros do efluente de piso contendo os poluentes e o quadro de metal delimita 1 m<sup>2</sup> de área na pista. As concentrações reveladas pelas análises dos parâmetros eram dadas em miligramas por litro (mg/L); então calcula-se a concentração do parâmetro no volume de 8 L.

$$1 \text{ L _____ } 225 \text{ mg/L.m}^2 \text{ de ST} \quad \text{(Tabela 6.3.)}$$

$$8L \text{ _____ } x = 1800 \text{ mg/L.m}^2$$

Se 1 mm equivale  $1L/m^2$  (GEO-RIO, 2004), depreende-se que:  $8L/m^2$  contém 232 mg

$$1 \text{ m}^2 \text{ _____ } 1800 \text{ mg de ST por 63 dias}$$

2) Cálculo da concentração de poluente, presente na área total da faixa (1/3 de pista):

$$1 \text{ m}^2 \text{ _____ } 1800 \text{ mg de ST por 63 dias}$$

$$9504 \text{ m}^2 \text{ _____ } y = 17,10 \text{ kg de ST por 63 dias}$$

3) Cálculo da quantidade de poluente depositada nas 3 faixas da pista (área de estudo  $28512 \text{ m}^2$ ) por 63 dias:

$$1 \text{ faixa _____ } 17,10 \text{ Kg de ST / 63 dias}$$

$$3 \text{ faixas _____ } z = 51,3 \text{ kg de ST / 63 dias}$$

4) Cálculo do nº de veículos que circulam por dia no eixo viário:

$$63 \text{ dias _____ } 5440245 \text{ veículos}$$

$$1 \text{ dia _____ } X = 86353 \text{ veículos}$$

5) Cálculo da quantidade de poluente correspondente à 86353 veículos/dia:

$$5440245 \text{ veículos/63 dias _____ } 51,30 \text{ kg de ST}$$

$$86353 \text{ veículos/dia _____ } Y = 0,8143 \text{ kg de ST}$$

6) Cálculo da quantidade de poluente por veículo.dia:

$$86353 \text{ veículos/dia _____ } 0,8143 \text{ kg de ST}$$

$$1 \text{ veículo/dia _____ } Z = 9,4 \times 10^{-6} \text{ kg ou } 9,4 \text{ mg de ST}$$

*Resolvendo para determinar o teor de S.S.T.*

1) Do mesmo modo para os sólidos suspensos totais (SST), tem-se 8 litros do efluente de piso contendo os poluentes e o quadro de metal delimita  $1 \text{ m}^2$  de área na pista. As concentrações

reveladas pelas análises dos parâmetros eram dadas em miligramas por litro (mg/L); então calcula-se a concentração do parâmetro no volume de 8 L.

$$1\text{L} \text{ _____ } 22 \text{ mg/L.m}^2 \text{ de SST} \quad (\text{Tabela 6.3.})$$

$$8\text{L} \text{ _____ } x = 176 \text{ mg/L.m}^2$$

Se 1 mm equivale  $1\text{L/m}^2$  (GEO-RIO, 2004), depreende-se que:  $8\text{L/m}^2$  contém 232 mg

$$1 \text{ m}^2 \text{ _____ } 176 \text{ mg de SST por 63 dias}$$

2) Cálculo da concentração de poluente, presente na área total da faixa (1/3 de pista):

$$1 \text{ m}^2 \text{ _____ } 176 \text{ mg de SST por 63 dias}$$

$$9504 \text{ m}^2 \text{ _____ } y = 1,673 \text{ kg de SST por 63 dias}$$

3) Cálculo da quantidade de poluente depositada nas 3 faixas da pista (área de estudo 28512  $\text{m}^2$ ) por 63 dias:

$$1 \text{ faixa} \text{ _____ } 1,673 \text{ kg de SST / 63 dias}$$

$$3 \text{ faixas} \text{ _____ } z = 5,019 \text{ kg de SST/63 dias}$$

4) Cálculo do nº de veículos que circulam por dia no eixo viário:

$$63 \text{ dias} \text{ _____ } 5440245 \text{ veículos}$$

$$1 \text{ dia} \text{ _____ } X = 86353 \text{ veículos}$$

5) Cálculo da quantidade de poluente correspondente à 86353 veículos/dia:

$$5440245 \text{ veículos/63 dias} \text{ _____ } 5,019 \text{ kg de SST}$$

$$86353 \text{ veículos/dia} \text{ _____ } Y = 0,07966 \text{ kg de SST}$$

6) Cálculo da quantidade de poluente por veículo/dia:

$$86353 \text{ veículos/dia} \text{ _____ } 0,07966 \text{ kg de óleos e graxas}$$

$$1 \text{ veículo/dia} \text{ _____ } Z = 9,0 \times 10^{-7} \text{ kg ou } 0,9 \text{ mg de SST}$$