

CLÁUDIA RAFAELA SARAIVA DE MELO SIMÕES NASCIMENTO

**CONSIDERAÇÕES SOBRE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS NA
AVENIDA CONDE DA BOA VISTA E RUA GONÇALVES MAIA**

**Recife
2011**

CLÁUDIA RAFAELA SARAIVA DE MELO SIMÕES NASCIMENTO

**CONSIDERAÇÕES SOBRE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS NA
AVENIDA CONDE DA BOA VISTA E RUA GONÇALVES MAIA**

**Recife
2011**

CLÁUDIA RAFAELA SARAIVA DE MELO SIMÕES NASCIMENTO

**CONSIDERAÇÕES SOBRE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS NA
AVENIDA CONDE DA BOA VISTA E RUA GONÇALVES MAIA**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Pernambuco para a obtenção
do título de Graduação em Engenharia
Civil.

Orientador: Professor Jaime Joaquim da
Silva Pereira Cabral

**Recife
2011**

Catálogo na fonte

Biblioteca Margareth Malta, CRB-4 / 1198

N244c Nascimento, Cláudia Rafaela Saraiva de Melo Simões.

Considerações sobre drenagem de águas pluviais na Avenida Conde da Boa Vista e Rua Gonçalves Maia / Cláudia Rafaela Saraiva de Melo Simões Nascimento. – Recife: O Autor, 2011.

48 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral .

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Civil, 2011.

Inclui Referências Bibliográficas.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me dado saúde, disposição, paciência e dedicação.

Ao professor Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral pela orientação e estímulo para realização deste trabalho.

A minha família em especial a minha mãe e minha prima Ana Karina. Aos meus amigos de colégio e os feitos durante a vida acadêmica, em especial a Josinaldo Leandro de Souza, Tarek Farah e Thiago Wagner da Silva.

E a todos que ajudaram direta e indiretamente na produção deste trabalho.

RESUMO

Recife é uma cidade que não foi planejada com uma devida atenção à drenagem urbana. Vários pontos da cidade apresentam problemas de alagamentos, dentre eles, pode-se citar a Avenida Conde da Boa Vista e a Rua Gonçalves Maia, objetos de estudo desse trabalho. As áreas em estudo são importantes por algumas razões; a Avenida Conde da Boa Vista por ser um dos principais centros comerciais do Recife por onde passam cerca de 40 mil pessoas por dia e a Rua Gonçalves Maia por nela está localizado o Consulado Americano. No presente trabalho foram feitas análises visuais na Avenida Conde da Boa Vista e Rua Gonçalves Maia; discussões a respeito dos problemas vistos, uma simulação com o software Cdren e uma análise sobre a interferência da população no sistema de drenagem urbana. Sugestões para a resolução dos problemas estudados foram abordadas, pode-se citar instalação de novas bocas-de-lobo, taxa para manutenção e uma conscientização da população para cooperar no bom funcionamento do sistema de drenagem urbana.

Palavras-chave: Drenagem urbana. Avenida Conde da Boa Vista. Rua Gonçalves Maia.

ABSTRACT

Recife is a city that was not planned a due attention to urban drainage. Across the city have flooding problems, among them one can cite the Conde da Boa Vista Avenue and Gonçalves Maia Street, objects of study of this work. The areas under study are important for several reasons: Conde da Boa Vista Avenue being one of the major trading centers of Recife where they spend about 40 thousand people a day and Gonçalves Maia Street because it is located by the U.S. Consulate. In the present work were made in visual analysis Conde da Boa Vista Avenue and Gonçalves Maia Street, where it has been a discussion of the problems seen, a simulation software Cdren and analysis on the interference of the population in urban drainage system. Suggestions for solving the problems studied have been addressed, we can mention the installation of new mouths-of-wolf, a tax for maintenance and awareness of the population to cooperate in the functioning of urban drainage system.

Key Words: Urban Drainage. Conde da Boa Vista Avenue. Gonçalves Maia Street

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Efeito da urbanização sobre o comportamento hidrológico	1
Figura 2 - O ciclo hidrológico (Fonte: CPRM, 2003).....	4
Figura 3 - Ciclo hidrológico tradicional (FONTE: DOOGE, 1973, apud HALL, 1984)	5
Figura 4 - Ciclo hidrológico urbano (FONTE: HALL, 1984)	5
Figura 5- Efeito da urbanização sobre a vazão máxima (FONTE: LEOPOLD, 1968 apud TUCCI, 2000).	6
Figura 6 - Efeito da urbanização em uma bacia hidrográfica	7
Figura 7 - Modelo de Sarjeta (Fonte: Azevedo Netto, 1998)	12
Figura 8- Boca-de-lobo simples (Fonte: DNIT, 2006).....	14
Figura 9 - Boca-de-lobo com grelha (Fonte: DNIT, 2006)	14
Figura 10 - Boca-de-lobo combinada (Fonte: DNIT, 2006).....	14
Figura 11 - Boca coletora simples ou lateral (Fonte: FERNANDES, 2002)	15
Figura 12 - Boca coletora com grelha (Fonte: FERNANDES, 2002)	16
Figura 13 - Boca coletora combinada (Fonte: FERNANDES, 2002)	16
Figura 14 - Boca coletora lateral múltipla (Fonte: FERNANDES, 2002)	17
Figura 15- Elementos da equação de energia em conduto forçado (Fonte: Fernandes, 2002).....	18
Figura 16 - Poço de visita convencional (Fonte: Fernandes, 2002)	20
Figura 17 - Poço de visita em alvenaria de tijolos (Fonte: Fernandes, 2002)....	21
Figura 18 - Avenida Conde da Boa Vista (Fonte: Google Earth)	23
Figura 19 - Rua Gonçalves Maia (Fonte: Google Earth).....	24
Figura 20 – À esquerda a Avenida no passado, à direita Avenida hoje	25
Figura 21 - Calçada da Av. Cde da Boa Vista	26
Figura 22 - Bocas-de-lobo na calçada	27
Figura 23 - Boca-de-lobo antiga	27
Figura 24 - Ausência de sarjeta e bocas-de-lobo	28
Figura 25 - Bocas-de-lobo nas esquinas	28
Figura 26 - Presença de comércio ilegal – uma fonte geradora de lixo	29
Figura 27 - Presença de lixo	29
Figura 28 - Abertura pequena da boca-de-lobo sendo obstruída por lixo	30
Figura 29 - Obstrução da boca-de-lobo com grelha.....	31
Figura 30 - Entrada do estacionamento do Banco Santander	31
Figura 31 - Entrada do estacionamento de uma loja de bijuterias.....	32
Figura 32 – Rua Gonçalves Maia alagada (Fonte: <www.g1.com> Acesso em 23 de julho de 2011)	33
Figura 33 - Acúmulo de sedimentos nas sarjetas.....	33
Figura 34 - Obstrução da sarjeta por rampas de estacionamentos	34

Figura 35 - Rua Gonçalves Maia.....	36
Figura 36 - Curvas de nível da Rua Gonçalves Maia.....	37
Figura 37 - Dados de chuva.....	39
Figura 38 - Dados de entrada para a sarjeta	40
Figura 39 - Dados de entrada para a sarjeta	40
Figura 40 - Desenho da Rua Gonçalves Maia no Cdren	41
Figura 41 - Resultado do Cdren	41
Figura 42 - Resultado do Cdren	42
Figura 43 - Boca de lobo localizado na Av. Cde da Boa Vista	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Alterações do meio ambiente pela urbanização (FONTE: MELO, 2007)	6
Tabela 2 - Fatores de redução do escoamento (Fonte: Azevedo Netto, 1998).	13
Tabela 3 - Dimensões Mínimas para Chaminé e Balão de PV (Fonte: Fernandes, 2002).....	21
Tabela 4 - Resultado da precisão do Google Earth.....	35
Tabela 5 - Coeficiente de Manning "n" (Fonte: Fernandes, 2002).....	38
Tabela 6 - Coeficiente Run off "C"	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. <i>Importância da Drenagem Urbana</i>	1
1.2. <i>Objetivo</i>	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. <i>Drenagem Urbana</i>	3
2.2. <i>Urbanização e Drenagem</i>	3
2.3. <i>Plano Diretor de Drenagem Urbana</i>	8
2.3.1. <i>Método Racional</i>	9
2.3.2. <i>Método Estatístico</i>	10
2.3.3. <i>Modelos Matemáticos</i>	10
2.3.4. <i>Bases para o Plano Diretor de Drenagem Urbana</i>	10
3. COMPONENTES DE UM SISTEMA DE DRENAGEM.....	12
3.1. <i>Sarjetas</i>	12
3.2. <i>Bocas Coletoras</i>	13
3.3. <i>Galerias</i>	17
3.4. <i>Poços de Visita</i>	19
4. ÁREAS DE ESTUDO.....	22
4.1. <i>Avenida Conde da Boa Vista</i>	24
4.1.1. <i>Análise da Situação Atual</i>	25
4.2. <i>Trecho da Rua Gonçalves Maia</i>	32
4.2.1. <i>Análise da Situação Atual</i>	32
5. SIMULAÇÃO CDREN.....	35
5.1. <i>Precisão do Google Earth</i>	35
5.2. <i>Dados de Entrada para a Simulação</i>	36
6. FINANCIAMENTO DA DRENAGEM URBANA.....	43
7. PRINCIPAIS RECOMENDAÇÕES.....	45
7.1. <i>Avenida Conde da Boa Vista</i>	45
7.2. <i>Rua Gonçalves Maia</i>	45
7.3. <i>Outros Aspectos</i>	46
8. CONCLUSÕES.....	47
9. BIBLIOGRAFIA.....	49

1. INTRODUÇÃO

1.1. Importância da Drenagem Urbana

Mudanças causadas por modificações na cobertura vegetal e nas formas de uso do solo urbano das bacias hidrográficas em grandes cidades influenciam diretamente nos regimes hidrológicos, hidráulicos, sedimentológicos e de qualidade das suas águas superficiais. Esses fenômenos são agravados pela impermeabilização da área, onde as vazões pluviais superficiais serão, por consequência, maiores que as que antes ocorriam, pois antes parte significativa da água que caía se infiltrava no terreno e agora, com a impermeabilização, as águas escorrem a maior parte pela superfície sem poder se infiltrar (Figura 1).

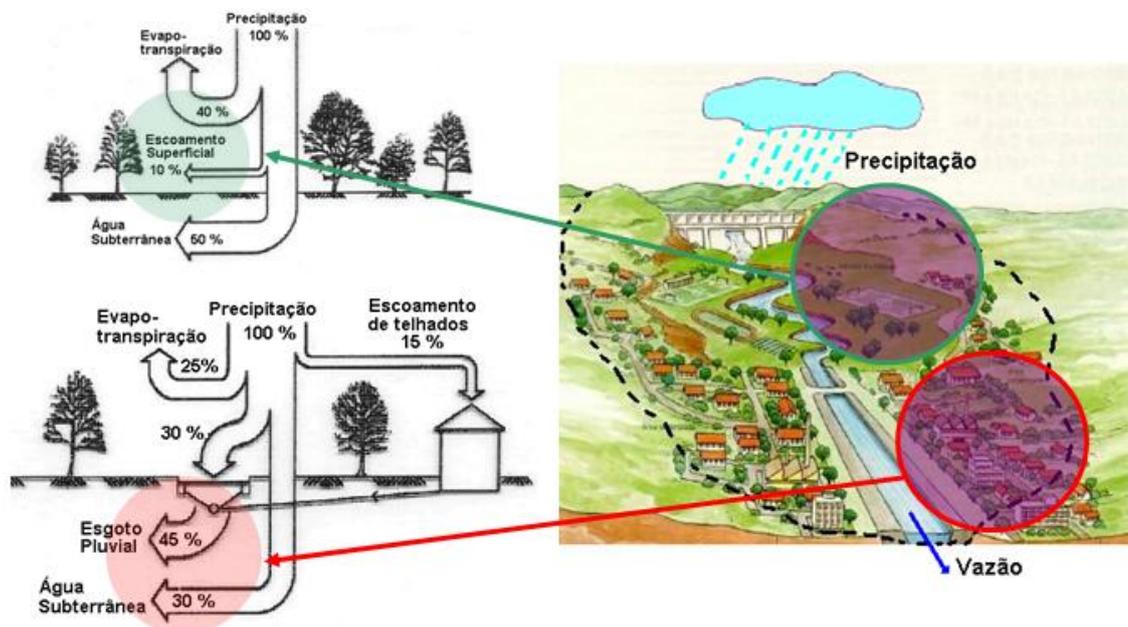


Figura 1 - Efeito da urbanização sobre o comportamento hidrológico

Essas mudanças de paisagem devido à ação do homem acontecem desde que o mesmo começou a fixar moradia, tornando necessária a transformação do meio em que vive. Nesse contexto de modificar a paisagem, a drenagem urbana está inserida. Atividades de drenagem começaram a ser realizadas desde a Antiguidade com o objetivo de complementar a atividade de irrigação e recuperar grandes terrenos alagados. Os primeiros sistemas de drenagem eram valas a céu aberto, tempos depois os dutos passaram a ser cobertos e feitos de materiais como blocos de argila cozidos e cimentados com

barro e gesso, podendo se perceber que à medida que os povos antigos iam evoluindo, esses sistemas também evoluíam.

No Brasil a drenagem urbana passou a existir de fato com a adoção do Sistema Separador Absoluto em 1912 que fez com que ela passasse a ser um elemento obrigatório nos projetos de urbanização, já que esse sistema separava os esgotos sanitários da água pluvial drenada. Estima-se que o sistema de drenagem seja superior que a coleta de esgotos sanitários, isso faz com que as ligações de esgotos domésticos sejam feitas de maneira clandestina aos sistemas de drenagem, prejudicando o pleno funcionamento do mesmo.

Portanto, entende-se por Drenagem Urbana as instalações destinadas a escoar o excesso de água na malha urbana, não se restringindo apenas aos aspectos puramente técnicos impostos pela engenharia, mas como também, compreende o conjunto de medidas a serem tomadas para diminuir os riscos que as inundações afetam a sociedade, sendo a mesma responsável também pela manutenção e pleno funcionamento do sistema de drenagem (NETO, 2006).

É função do sistema de Drenagem Urbana, entre outras coisas, a proteção de pavimentos, a redução de alagamentos das ruas pela passagem das águas, eliminação dos pontos baixos de acumulação de água e diminuição de inundações. São essas as principais funções no que se refere ao objeto de estudo a Avenida Conde da Boa Vista e a Rua Gonçalves Maia.

1.2. Objetivo

O objetivo principal do presente trabalho é o estudo dos pontos críticos de alagamento da Avenida Conde da Boa Vista e Rua Gonçalves Maia, para isso foram executados os seguintes itens:

- Análise visual sobre o sistema de drenagem;
- Simulação de Drenagem com o software Cdren;
- Analisar se o comportamento das pessoas, trabalhadores, transeuntes e moradores estão interferindo na obstrução das galerias de drenagem com o lançamento de lixo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Drenagem Urbana

A Drenagem Urbana por muito tempo foi discutida e resolvida de forma local, onde para que seu projeto fosse resolvido, eram necessários projetos hidráulicos, hidrológicos, topográficos, porém as soluções eram muito restritas e essas poderiam vir a prejudicar outras áreas.

No contexto atual da Drenagem, Melo (2007) diz que esta nova etapa, que também é considerada um período de abordagem científico ambiental, sofre uma pressão grande para a melhoria da proteção dos recursos hídricos como um todo, com uma maior conscientização ecológica e evolução tecnológica. Conceitos de engenharia como os que prevaleciam até bem pouco tempo, estão sendo repensados e inovados.

Melo (2007) também define drenagem como um conjunto ordenado de estruturas naturais e de engenharia que permite escoar as águas superficiais numa determinada área, de tal modo que sejam preservadas as qualidades naturais de conforto e de harmonia necessárias para o fluxo dos cursos de água, sem que venha a produzir impactos negativos para o homem.

A drenagem urbana se torna a cada dia mais importante não só no contexto local, mas também no mundial, pois há cada vez mais necessidade de melhor utilização das águas de chuva, devido a problemas no atendimento de água para grande parte da população nas grandes cidades.

Esta necessidade de racionalização da água fez surgir o emprego de uma nova terminologia técnica que passou da simples “drenagem urbana” para “manejo sustentável das águas urbanas”. No meio científico, isso corresponde a um novo conceito filosófico do enfrentamento dos problemas de drenagem para os próximos anos (YASAKI, 2006 apud MELO, 2007).

2.2. Urbanização e Drenagem

As cidades têm a cada ano crescido e se desenvolvido, agregado a esse desenvolvimento, vem à impermeabilização de áreas, poluição de rios, enchentes e as grandes tragédias que esses fatores causam. O equilíbrio ecológico e as necessidades humanas são pontos de conflito refletidos na bacia hidrográfica.

A área urbana é como uma superfície completamente estranha ao meio natural e, como tal, tem efeitos sobre os processos naturais, que variam

segundo sua extensão, características físicas e geomorfológicas, área de abrangência, constantes alterações e interação com a região em que se encontra (CRUZ, 1998 apud MELO, 2007).

Os elementos que compõem a bacia hidrográfica resultam em um curso de água que escoar pelo exutório, sendo esse curso de água fundamental ao ciclo hidrológico na fase terrestre. Os desmatamentos, a impermeabilização de superfícies, alterações em redes de drenagem, implantações de redes de esgotos e águas pluviais, e lixos de diversos tipos e tamanhos jogados nos rios, resultam em interferências que por muitas vezes são de repercussão negativa e irreversíveis ao meio ambiente. A Figura 2 mostra o ciclo hidrológico natural da água.

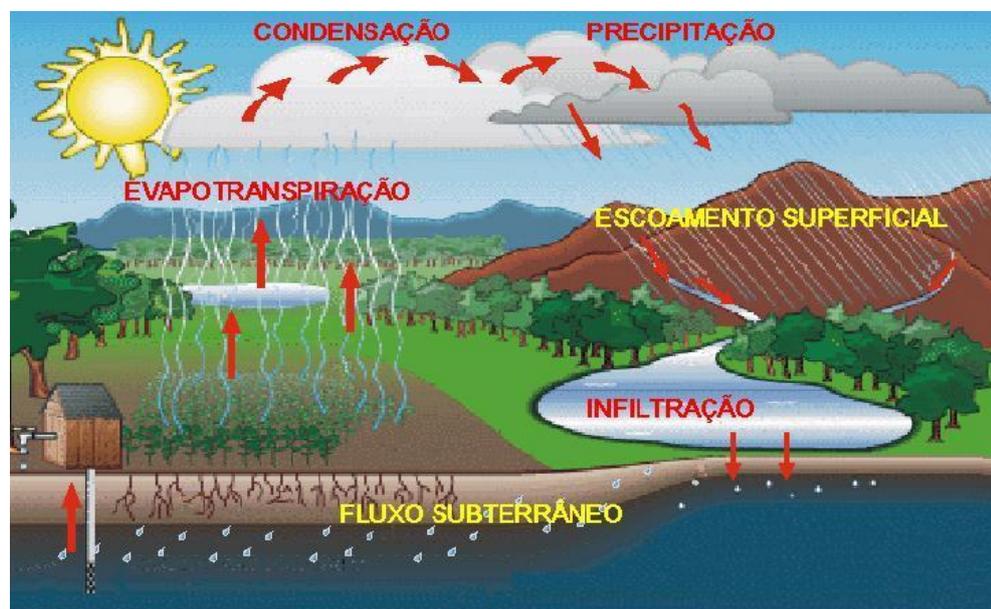


Figura 2 - O ciclo hidrológico (Fonte: CPRM, 2003)

A Figura 2 representa um esquema de uma área não urbanizada e impermeável, onde o ciclo hidrológico consiste nas gotículas de chuva que chegam até o solo, golpeando-o, fazendo com que haja o desprendimento de suas partículas no local que sofre o impacto, sendo transportadas ou penetradas no mesmo. Após o preenchimento do solo e a capacidade de retenção de água de chuva pela vegetação ser ultrapassada e excedida a taxa de infiltração, inicia-se o escoamento superficial.

Pequenos filetes de água começam a escoar pela superfície do solo e se juntam em córregos, canais, riachos ou rios. Os cursos de água são alterados pela natureza a fim de aperfeiçoar o caminho das águas.

As Figuras 3 e 4 representam fluxogramas que representam os ciclos hidrológicos natural e influenciados pela ação do homem. Para melhor entendimento é necessário saber que as linhas tracejadas representam os limites do sistema que recebe a precipitação (P) e contribuição da própria litosfera (M), produzindo uma evaporação (E) e escoamento em canal (Q). Apresenta ainda no seu interior deslocamentos por infiltração (I) e capilar (C), percolação (R) e fluxo superficial (Qi).

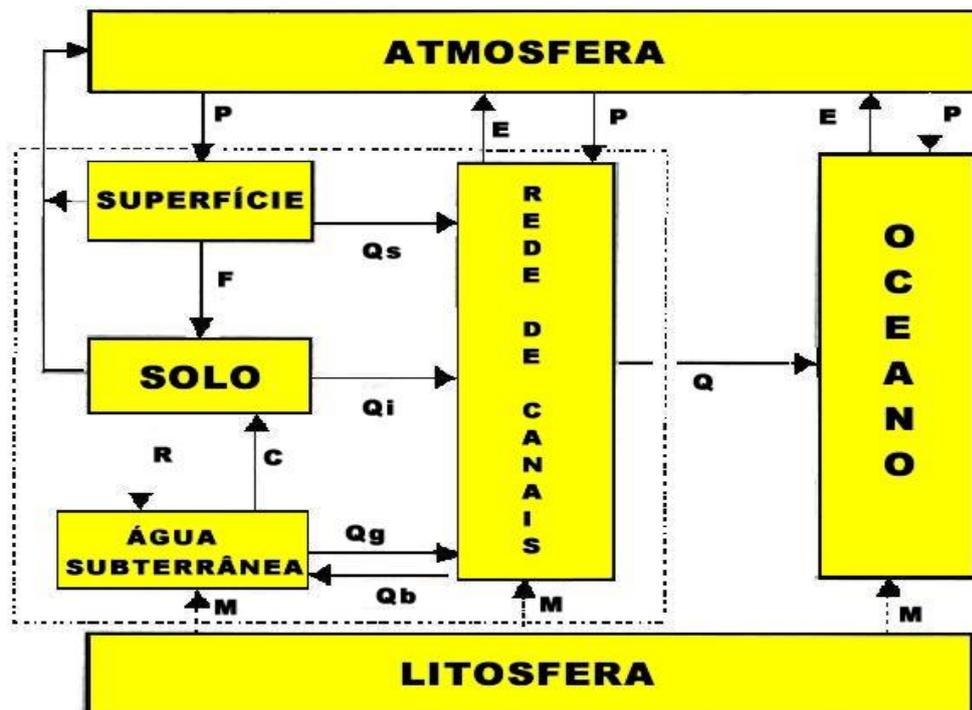


Figura 3 - Ciclo hidrológico tradicional (FONTE: DOOGE, 1973, apud HALL, 1984)

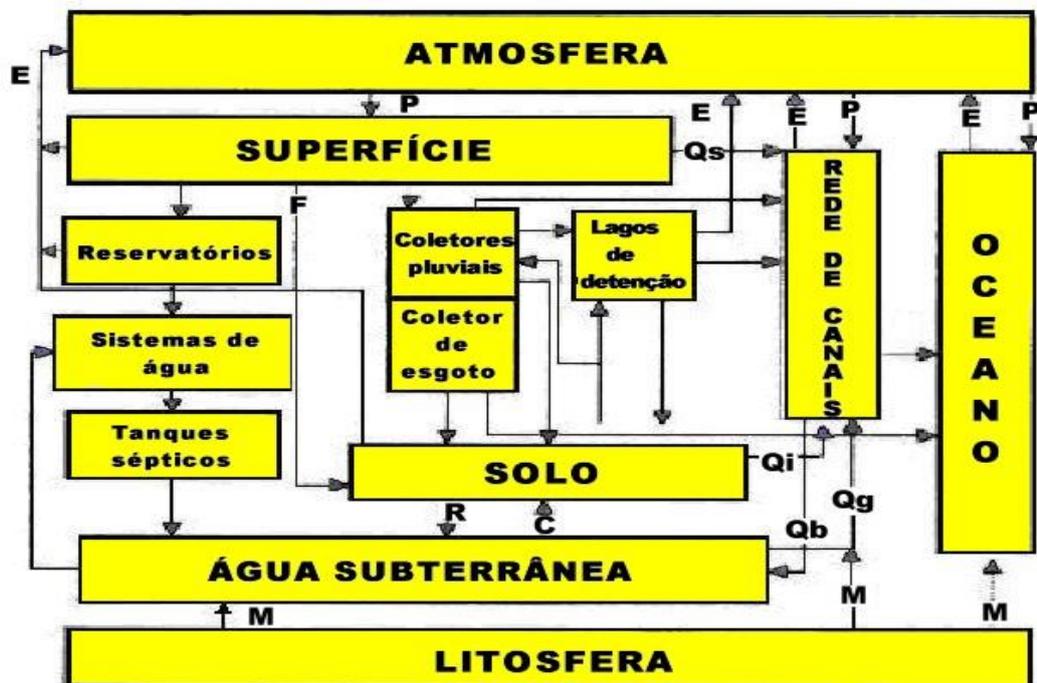


Figura 4 - Ciclo hidrológico urbano (FONTE: HALL, 1984)

O sistema hidrológico influenciado pela ação do homem, ou ciclo urbano diferencia-se do natural pela presença dos coletores, esses fazem parte dos sistemas de coletas de águas pluviais instalados nas cidades e destinados aos efluentes para que retornem aos cursos de água local ou para o oceano.

A tabela 1 apresenta as alterações do meio ambiente causada pela ação antrópica.

Tabela 1 - Alterações do meio ambiente pela urbanização (FONTE: MELO, 2007)

ALTERAÇÕES	POSSÍVEIS CONSEQUÊNCIAS
Remoção de cobertura vegetal	<ul style="list-style-type: none"> •Aumento da evaporação; •Crescimento do escoamento superficial; •Assoreamento dos cursos fluviais; •Maiores picos e volumes de vazão.
Alto grau de urbanização, maior número de edificações e ruas pavimentadas.	<ul style="list-style-type: none"> •Redução da infiltração; •Rebaixamento do lençol freático; •Redução da vazão de base; •Aumento da velocidade de escoamento dos cursos de água; •Cresce o pico de enchentes.
Implantação de redes de esgotos sanitários e pluviais.	<ul style="list-style-type: none"> •Remoção adicional de água da área; •Redução da infiltração; •Menor recarga de aquíferos; •Degradação da qualidade da água.

A urbanização interfere mais diretamente no escoamento superficial direto. Verifica-se que o pico de cheia em uma bacia urbanizada pode chegar a ser seis vezes maior do que o pico desta mesma bacia em condições naturais, como se observa na Figura 5 (LEOPOLD, 1968 apud MELO, 2007).

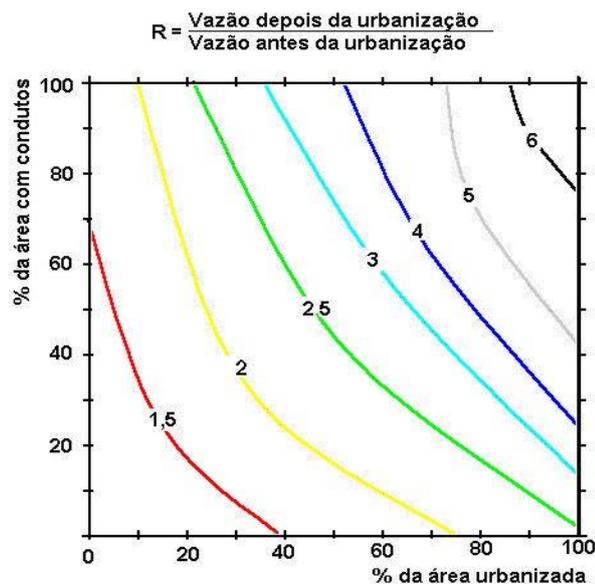


Figura 5- Efeito da urbanização sobre a vazão máxima (FONTE: LEOPOLD, 1968 apud TUCCI, 2000).

Na Figura 5, as curvas fornecem o valor de R, aumento da vazão média de inundação função da área impermeável e da canalização do sistema de drenagem (TUCCI, 2003 MELO, 2007).

Normalmente, à medida que as cidades crescem, as planícies de inundação são ocupadas por residências e cruzadas por ruas impermeáveis, sem que seja dada a devida atenção para as possibilidades de prejuízos materiais e humanos, em ocorrência de enchentes (WHIPPLE, 1977 MELO, 2007).

À medida que as bacias hidrográficas são urbanizadas, crescem as áreas impermeáveis e, conseqüentemente, aumentam as enchentes. Tornam-se, ainda, as inundações mais freqüentes e a obstrução ao escoamento, causada por sinuosidades naturais, mais perceptíveis. Até as pontes e outras estruturas que, originalmente, foram dimensionadas de forma adequada, tornam-se inadequadas para a nova situação de pico de cheia (WHIPPLE, 1977 MELO, 2007).

A ocupação da bacia tende a ocorrer no sentido da jusante para a montante, devido às características de relevo. Quando o poder público não controla a urbanização das cabeceiras da bacia hidrográfica ou não amplia a capacidade de macrodrenagem, a freqüência das enchentes aumenta significativamente, provocando a desvalorização de propriedades e acarretando prejuízos periódicos. Neste processo, a população localizada a jusante sofre as piores conseqüências, em razão das ocupações a montante (Tucci, 2000 MELO, 2007).

Todas as modificações provocadas no meio natural resultam em alterações nas quantidades de água envolvidas no processo, o que se reflete em aumentos de parcelas de escoamento, redução na infiltração, redução nos volumes interceptados, modificação dos volumes evaporados e conseqüentemente modificação do escoamento de base (Tucci, 2000 VIEIRA, 2007).

Uma forma de se analisar de maneira rápida o grau de impacto da urbanização na drenagem é com a utilização de dados históricos de vazão. Na Figura 6 pode-se ver o hidrograma de uma área não urbanizada e um de uma área urbanizada. O hidrograma da área urbanizada sofre antecipação do pico, isso ocorre porque não há contribuição da infiltração, fazendo com que logo haja o escoamento superficial. Diferentemente, no hidrograma da área não urbanizada, o pico só ocorrerá depois que a contribuição da infiltração acabar.

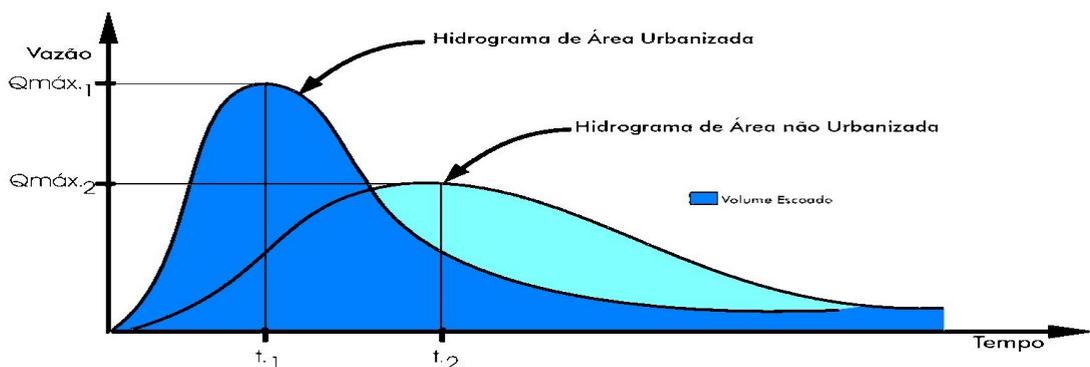


Figura 6 - Efeito da urbanização em uma bacia hidrográfica

A engenharia tem papel de fundamental importância no controle dos impactos gerados pela urbanização, através de estudos sobre o que estes impactos poderão causar na drenagem aliado a isso há também as medidas sustentáveis que busquem o controle de escoamento na bacia hidrográfica. A idéia atual é a de que qualquer nova modificação do meio deve manter as condições pré-existentes de vazão para um determinado risco definido. Ou seja, para que o sistema de drenagem funcione satisfatoriamente, para as novas construções, devem ser feitos projetos que não prejudiquem o pleno funcionamento do sistema já existente, os novos pensamentos veem o sistema como um todo, não se analisando mais de forma local.

Um problema presente no sistema de drenagem é o esgoto doméstico. Apesar de o sistema separador absoluto ser vigente no Brasil, por o sistema de coleta e tratamento do esgoto sanitário ser bastante precário, os canais e as galerias pluviais tornaram-se lugares de mais fácil acesso da população para o lançamento clandestino e ilegal dos resíduos líquidos (esgotos) e sólidos (lixo).

Em Recife essa situação não é diferente, onde até mesmos bairros considerados saneados, como o Bairro da Boa Vista, possuem essas ligações de esgotos no sistema de drenagem de águas pluviais.

Os efeitos das ligações são vistos nos períodos de chuvas, pois com o sistema de drenagem sobrecarregado com o esgoto doméstico, as águas pluviais ficam concentradas em ruas, avenidas, gerando transtornos e prejuízos.

O desenvolvimento da infraestrutura urbana tem sido realizado de forma inadequada, o que tem provocado impactos significativos na qualidade de vida da população. A drenagem urbana tem sido um dos principais veículos de deterioração do meio ambiente, devido à própria concepção do sistema de drenagem pluvial e às ações externas, com a produção de resíduos sólidos e os padrões de ocupação urbana. Além disso, as soluções adotadas, no âmbito da engenharia, para a drenagem urbana às vezes têm produzido mais danos do que benefícios ao ambiente (VILLANUEVA; TUCCI, 2001 MELO, 2007).

Conclui-se que o sistema de drenagem urbana não deve ser isolado, deve estar integrado com outras obras e sistemas urbanos com o objetivo de diminuir os impactos negativos para o espaço trabalhado.

2.3. Plano Diretor de Drenagem Urbana

Uma maneira de diminuir os impactos é organizar o espaço urbano para isso existe o Plano Diretor de Drenagem Urbana, cujo seu principal objetivo é criar os mecanismos de gestão da infraestrutura urbana, relacionados com o escoamento das águas pluviais, dos rios e arroios em áreas urbanas.

O Plano Diretor de Drenagem Urbana tem como principais produtos:

- Regulamentação dos novos empreendimentos;

- Planos de controle estrutural e não-estrutural para os impactos existentes nas bacias urbanas da cidade;
- Manual de drenagem urbana. (PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA RS, 2005)

Em Recife, existe um Plano Diretor da Cidade que contempla um planejamento urbano, onde estão as restrições de índices de ocupação e aproveitamento do solo. Porém esse Plano Diretor não contempla questões relacionadas às enchentes e medidas que devam ser tomadas para minimizá-las, o que mostra a necessidade de um Plano Diretor de Drenagem Urbana para a cidade.

A fim de se planejar efetivamente o impacto urbano, como já foi discutido anteriormente, é necessário quantificá-lo e avaliá-lo pelos diferentes Métodos existentes, como o Método Racional, Método Estatístico e Modelos Matemáticos.

2.3.1. Método Racional

O Método Racional relaciona a precipitação com o deflúvio, considerando as principais características da bacia, tais como área, permeabilidade, forma, declividade média, sendo a vazão de dimensionamento calculada pela seguinte expressão, equação 1:

$$Q = 166,67.C. i. A \quad (1)$$

Sendo:

Q - Vazão da enchente na seção da drenagem em l/s;

C – Coeficiente de escoamento superficial;

i - intensidade média de chuva para a precipitação em mm/min;

A – Área da bacia de contribuição em hectares.

O Método possui como limitação a não consideração da permeabilidade dos terrenos, onde os não pavimentados variam durante a precipitação provocando, freqüentemente, superdimensionamento das galerias de montante em seus trechos iniciais.

Outra limitação que provoca restrições é o fato de considerar constante a intensidade de chuva de projeto tanto no tempo como no espaço, admitindo

assim, uma precipitação uniforme em toda a área de contribuição, implicando em superdimensionamento dos trechos de jusante.

2.3.2. Método Estatístico

O método consiste em utilizar dados não-homogêneos de vazão para estimar o impacto da urbanização. Necessita de uma grande quantidade de informações de sub-bacias diferentes para maior precisão e melhor confiabilidade de resultados. Esse método possui como limitação a necessidade de informações que na maioria dos casos as bacias estudadas não possuem, a metodologia se baseia na regionalização de vazões máximas (NERC, 1975 apud TUCCI, 1997).

2.3.3. Modelos Matemáticos

Devido à dificuldade de se obter dados hidrológicos, esse método consiste em usar dados de precipitação para a determinação de vazão. O cálculo é realizado com base no tempo de retorno ou tempo de risco da precipitação, que não é necessariamente o mesmo valor da vazão.

2.3.4. Bases para o Plano Diretor de Drenagem Urbana

Um Plano Diretor de Drenagem Urbana deve buscar:

- Planejar a distribuição de água no tempo e no espaço, com base na tendência de ocupação urbana compatibilizando esse desenvolvimento e a infra-estrutura para evitar prejuízos econômicos e ambientais;
- Controlar a ocupação de áreas de risco de inundação através de restrições na área de alto risco;
- Convivência com as enchentes nas áreas de baixo risco. (TUCCI, 1997)

O Plano Diretor de Drenagem Urbana deve ser um componente do Plano Diretor da cidade, pois existem elementos de ocupação do solo que tem interferência direta de um sobre o outro.

Deve ser dada ênfase as medidas de controles de enchentes através de medidas não-estruturais. O zoneamento de áreas para esse controle deve ser especificado com critérios de ocupação do leito maior.

Entre as medidas não-estruturais podem ser listadas:

- Para a Macrodrenagem urbana: reservar espaço urbano para parques laterais ou lineares nos rios que formam a macrodrenagem para amortecimento das enchentes e retenção dos sedimentos e lixo;
- Para as áreas ribeirinhas: zoneamento de áreas de inundação, definindo-se zonas de alto e baixo risco de ocupação, e critério de construção no código de obras da cidade. (TUCCI, 1997)

O grande problema da implantação do Plano Diretor de Drenagem Urbana é a fiscalização das áreas que não podem ser ocupadas. A população desavisada tende a ocupar o leito maior dos rios, devido ao histórico de anos com pequenas enchentes ou pelo baixo custo dos terrenos, perdendo bens materiais e até vidas quando ocorrem enchentes maiores. (TUCCI, 1997)

Para uma cidade cortada por rios como Recife, há uma necessidade enorme de um Plano Diretor de Drenagem como complemento ao Plano Diretor da cidade, mas este além de ser elaborado tem que ser fiscalizado de perto pelos órgãos competentes para que as medidas estruturais e não-estruturais funcionem perfeitamente.

3. COMPONENTES DE UM SISTEMA DE DRENAGEM

Fazem parte do sistema de microdrenagem os elementos de captação e transporte que são as Sarjetas e Sarjetões, Bocas coletora, Poço de visita e Galerias. A seguir será falado de maneira sucinta sobre esses componentes.

3.1. Sarjetas

São canais formados por faixas da via pública e o meio-fio (guia), ou apenas por faixas nos cruzamentos de ruas no caso de sarjetões, destinados a coletar as águas de escoamento superficial e transportá-lo até às bocas coletoras. Em geral comportam-se como canais de seção triangular, possui o leito em concreto ou no mesmo material de revestimento da pista de rolamento, em vias com pavimentação. É comum o uso de paralelepípedos na confecção do leito das sarjetas (neste caso conhecida como linha d'água).

As sarjetas (Figura 8) normalmente são dimensionadas sem a utilização da sua função hidráulica, sendo apenas necessária a determinação de sua capacidade hidráulica (maxima vazão de escoamento) para comparar com a vazão originada da chuva e posteriormente decidir as posições das bocas coletoras que irão retirar as águas em excesso da superfície das ruas. Essa vazão máxima pode ser calculada pela fórmula de Manning, equação 2:

$$Q = A.Rh^{2/3}.I^{1/2}.n^{-1} \quad (2)$$

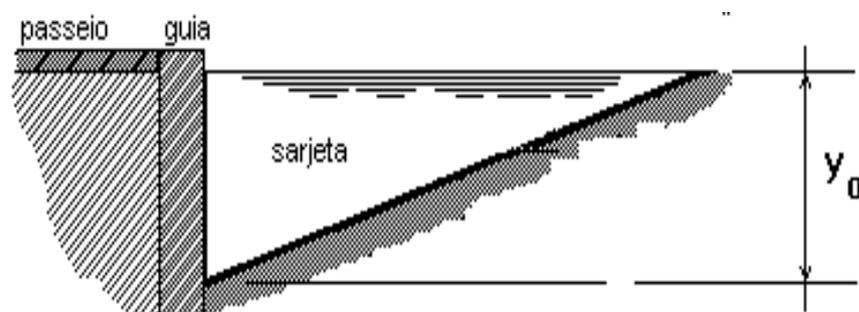


Figura 7 - Modelo de Sarjeta (Fonte: Azevedo Netto, 1998)

Em geral as guias têm 0,15 m de altura e se admite um enchimento máximo de 0,13 m e uma declividade transversal da via pública de 3%. Para aproximar valores teóricos das condições reais de escoamento, recomenda-se

a adoção dos fatores de redução (AZEVEDO NETTO, 1998). Esses fatores de redução têm por objetivo dar uma margem de segurança na sua capacidade, devido a problemas funcionais, tais como danos materiais devido a velocidades excessivas de escoamento, assoreamento e obstrução parcial por causa da sedimentação da areia. Os valores de redução podem ser vistos na tabela 2.

Tabela 2 - Fatores de redução do escoamento (Fonte: Azevedo Netto, 1998)

Declividade da sarjeta - %	Fator de redução
0,4	0,50
1,3	0,50
5,0	0,50
6,0	0,40
8,0	0,27
10,0	0,20

3.2. Bocas Coletoras

Entende-se por boca-de-lobo ou bocas coletoras as estruturas hidráulicas que sevem para a captação das águas pluviais que escoam encaminhando-as às canalizações subterrâneas.

Segundo o DNIT- Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes – Manual de Drenagem de Rodovias - 2006, as bocas-de-lobo possuem três tipos de classificação:

- a) **Boca-de-lobo simples:** abertura no meio-fio, caso em que a caixa coletora fica situada sob o passeio (Figura 8). A abertura vertical no meio-fio é denominada guia-chapéu e sua função é permitir que a água pluvial escoe sobre a sarjeta para a caixa coletora;
- b) **Boca-de-lobo com grelha:** caso em que a caixa coletora fica situada sob a faixa da sarjeta. Possui uma abertura coberta com barras longitudinais e/ou transversais formando uma grelha (Figura 9);
- c) **Boca-de-lobo combinada:** associação entre os dois tipos funcionando como um conjunto único (Figura 10).

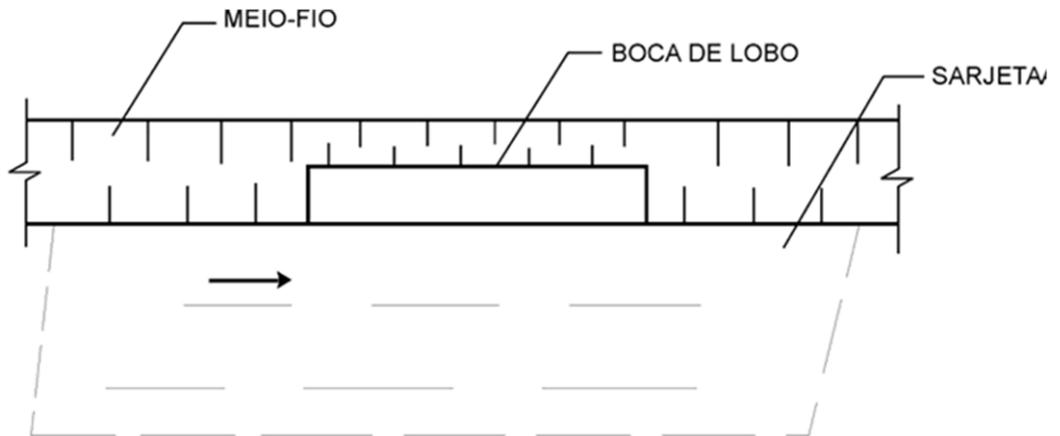


Figura 8- Boca-de-lobo simples (Fonte: DNIT, 2006)

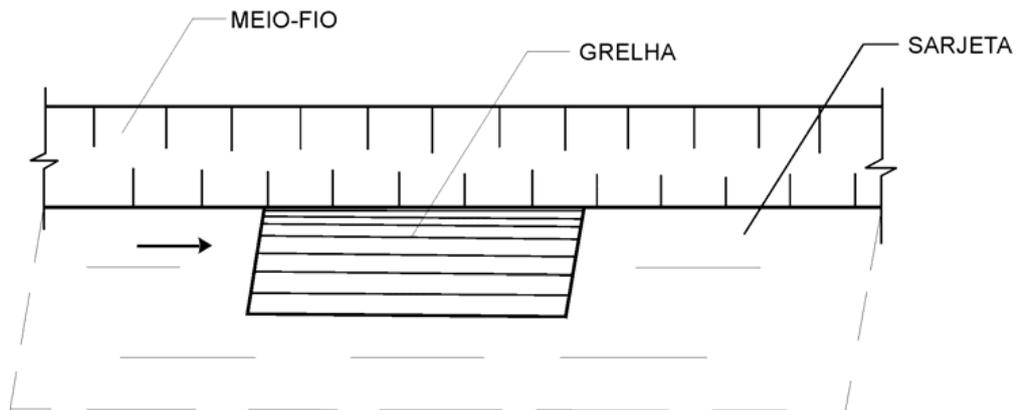


Figura 9 - Boca-de-lobo com grelha (Fonte: DNIT, 2006)

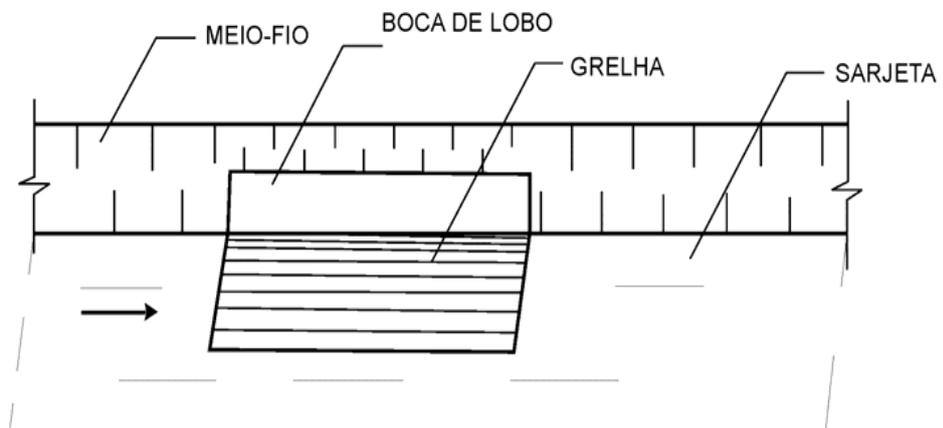


Figura 10 - Boca-de-lobo combinada (Fonte: DNIT, 2006)

A escolha do tipo de boca coletora é de fundamental importância para o bom funcionamento do sistema de drenagem. A fim de que isso ocorra, alguns critérios podem e devem ser levados em consideração, tais como ponto de localização, vazão de projeto, declividades (transversal e longitudinal) da sarjeta e da rua, interferência no tráfego e possibilidades de obstruções. Esses critérios são detalhados abaixo:

- As bocas coletoras laterais podem se situar em pontos intermediários com pequenas declividades longitudinais ($I \leq 5\%$), em vias de tráfego intenso e rápido, presença de materiais obstrutivos nas sarjetas e à montante do escoamento.
- As bocas coletoras com grelhas (Figura 12) podem se situar em pontos com sarjetas com limitação de depressão, onde não há presença de materiais obstrutivos e em pontos intermediários em ruas com alta declividade longitudinal ($I \geq 10\%$).
- As bocas coletoras combinadas (Figura 13) podem se situar em pontos baixos das ruas e intermediários das sarjetas com declividade média entre 5 e 10% e onde há presença de detritos.
- As bocas coletoras múltiplas (Figura 14) podem se situar em pontos baixos e em sarjetas com grandes vazões. (FERNANDES, 2002)

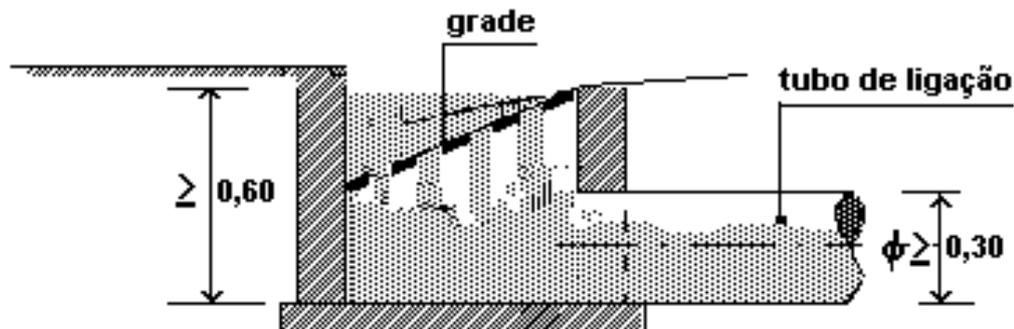


Figura 12 - Boca coletora com grelha (Fonte: FERNANDES, 2002)

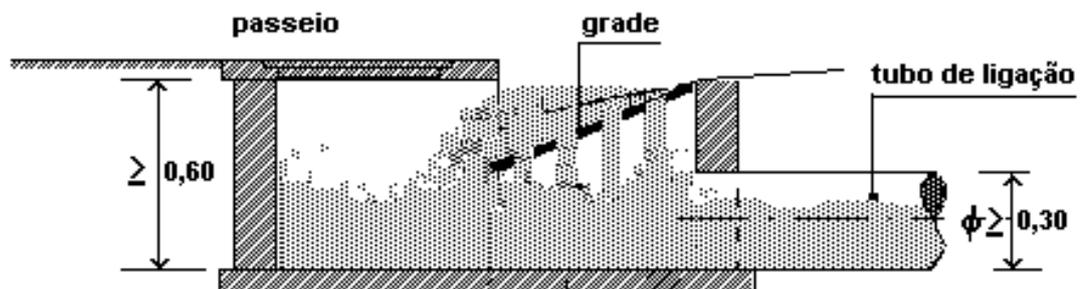


Figura 13 - Boca coletora combinada (Fonte: FERNANDES, 2002)

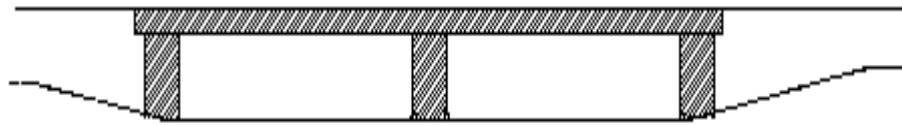


Figura 14 - Boca coletora lateral múltipla (Fonte: FERNANDES, 2002)

Segundo Azevedo Netto, 1998 - Manual de Hidráulica, a capacidade hidráulica de boca coletora simples livre pode ser considerada como um verteredor de parede espessa, onde a expressão é (equação 3):

$$Q = 1,71.L.H^{3/2} \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (3)$$

Onde:

L – comprimento da abertura (m);

H – altura da água nas proximidades (m) – 0,13 m no caso padrão de sarjetas.

3.3. Galerias

Galerias de águas pluviais são todos os condutos fechados destinados ao transporte das águas de escoamento superficial, originárias das precipitações pluviais captadas pelas bocas coletoras. O termo galeria por si só já é designação de todo conduto subterrâneo com diâmetro equivalente igual ou superior a 400 mm. Tecnicamente sistema de galerias pluviais é um conjunto de bocas coletoras, condutos de ligação, galerias e seus órgãos acessórios tais como poços de visita e caixas de ligação. É a parte subterrânea de um sistema de microdrenagem (FERNANDES, 2002).

Para a elaboração do projeto de microdrenagem admite-se, enquanto este trecho funcionar com a vazão de projeto, um escoamento em conduto livre em regime permanente e uniforme, ou seja, em cada trecho da galeria não haverá mudança de velocidades de escoamento e de lâmina de água no tempo.

O cálculo obedecerá às seguintes fórmulas clássicas:

- Equação da continuidade (eq. 4):

$$Q = A.V \quad (4)$$

- Teorema de Bernoulli (eq.5):

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha \frac{v_2^2}{2g} + h_{f1-2} \quad (5)$$

Onde:

P = pressão, Kgf/m^2

γ = peso específico, Kgf/m

V = velocidade do escoamento, m/s

g = aceleração da gravidade, m/s^2

Z = altura sobre o plano de referência, m

h_f = perda de energia entre as seções em estudo, devido a turbulência, atritos, etc, denominada de perda de carga, m

α = fator de correção de energia cinética devido as variações de velocidade na seção, igual a 2,0 no fluxo laminar e 1,01 a 1,10 no hidráulico ou turbulento, embora nesta situação, na prática, sempre se tome igual a 1,00.

A Figura 15 ilustra os elementos componentes da equação.

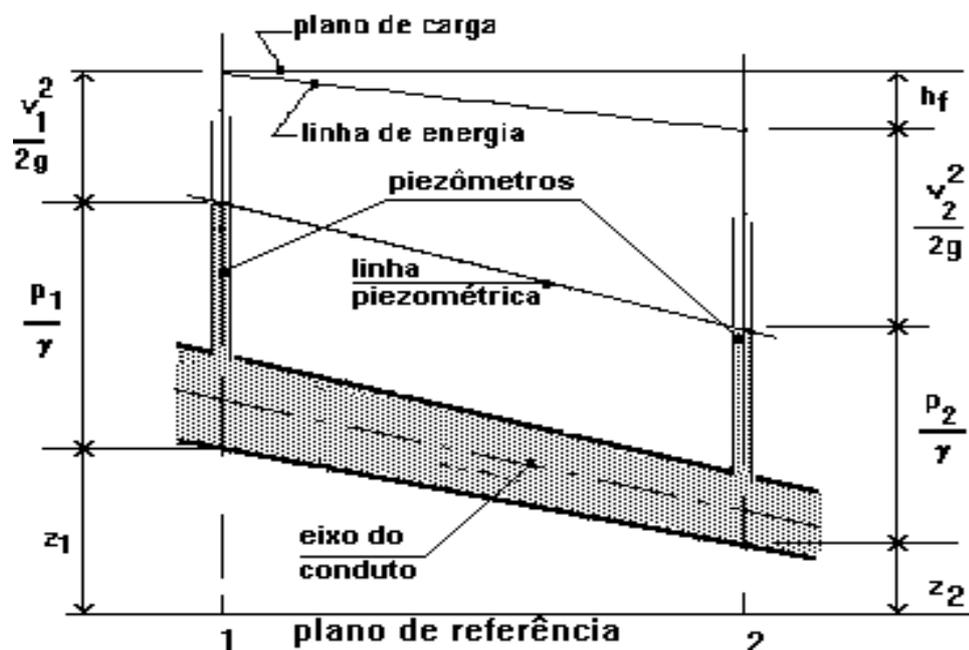


Figura 15- Elementos da equação de energia em conduto forçado (Fonte: Fernandes, 2002)

No Brasil costuma-se usar a fórmula de Chèzy com o coeficiente de Manning (eq.6):

$$V = C \cdot (R \cdot I)^{1/2} \quad (6)$$

Onde:

$$C = R^{1/6} \cdot n^{-1}$$

R= Raio hidráulico

I=Perda de linha d'água

N=coeficiente de Manning, função do acabamento das paredes.

Por sua maior capacidade de escoamento e pela facilidade de obtenção de tubos pré-moldados de concreto, as seções circulares são as mais empregadas. O diâmetro mínimo recomendado é de 400 mm, onde as dimensões crescem sempre de montante para jusante, não sendo permitindo redução. A capacidade máxima é calculada pela seção plena ou com uma folga mínima de 0,10 m.

Recomenda-se uma velocidade mínima de escoamento de 0,75 m/s afim de que não haja sedimentação natural do material sólido em suspensão da água e assim as condições de auto-limpeza sejam preservadas. O valor de velocidade máxima é de 4,0 m/s e é função do material de revestimento das paredes internas dos condutos.

Os valores de declividade variam normalmente entre 0,3 e 0,4%, pois para valores fora desse intervalo é possível a ocorrência de velocidades incompatíveis com os limites recomendados. Adota-se como recobrimento mínimo de 1,0 m e máximo de 4,0 m, o valor é adotado em função da estrutura da canalização.

Segundo Azevedo Netto, 1998 - Manual de Hidráulica, o dimensionamento hidráulico das galerias pode ser efetuado com a equação de Chèzy e coeficiente de Manning, como já dito acima. Pela fórmula de Manning o diâmetro pode ser calculado com as equações 7 e 8:

- Válida para a altura de lâmina de 0,9 d:

$$d = 1,511.(n.Q.I^{-1/2})^{3/8} \quad (7)$$

- Para seção plena:

$$d = 1,548.(n.Q.I^{-1/2})^{3/8} \quad (8)$$

3.4. Poços de Visita

Câmara de visita com abertura no nível do terreno que tem por objetivo permitir reunião de dois ou mais trechos consecutivos e trabalhos de manutenção nos trechos a ele ligados (Figura 16).

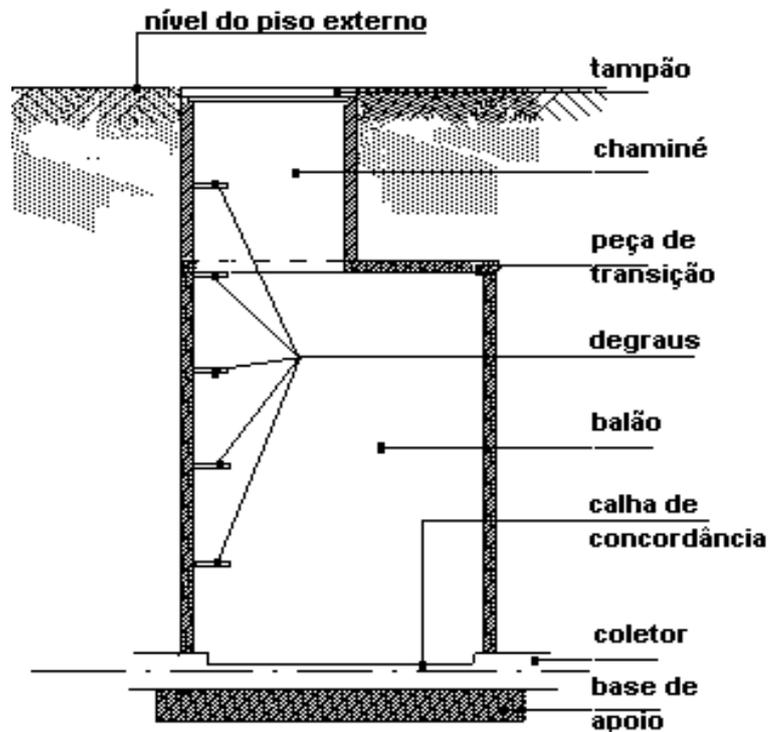


Figura 16 - Poço de visita convencional (Fonte: Fernandes, 2002)

Um poço de visita convencional possui dois compartimentos distintos que são a chaminé e o balão, construídos de tal forma a permitir fácil entrada e saída do operador e espaço suficiente para este operador executar as manobras necessárias ao desempenho das funções para as que a câmara foi projetada (FERNANDES, 2002).

O balão ou câmara de trabalho é o compartimento principal da estrutura, de secção circular, quadrada ou retangular, onde se realizam todas as manobras internas, manuais ou mecânicas, por ocasião dos serviços de manutenção de cada trecho. Nele se encontram construídas em seu piso, as calhas de concordância entre as secções de entrada dos trechos a montante e de saída. A chaminé, pescoço ou tubo de descida, consiste no conduto de ligação entre o balão e a superfície, ou seja, o exterior. Convencionalmente inicia-se num furo excêntrico feito na laje de cobertura do balão e termina na superfície do terreno fechada por um tampão de ferro fundido (FERNANDES, 2002).

Por convenção os poços de visita são empregados nas cabeceiras de redes, nas mudanças de direção dos coletores, nas alterações de diâmetro, nas alterações de posição e/ou direção de geratriz inferior da tubulação, nos desníveis nas calhas, nas mudanças de material, nos encontros de coletores e em posições intermediária em coletores com grandes extensões em linha reta onde a distancia entre dois poços de visita consecutivos não deverá exceder 100 m.

O diâmetro mínimo útil da chaminé é de 0,60 m, essa medida permite o movimento vertical do operador e a altura não deverá ser superior a 1,0 m. O balão deve ter, sempre que possível, uma altura mínima de 2,0 m, afim de que o operador possa trabalhar sem maiores problemas dentro do poço de visita. A

tabela 3 mostra as dimensões mínimas recomendáveis para chaminé e balão e a figura 17 mostra um esquema do PV.

Tabela 3 - Dimensões Mínimas para Chaminé e Balão de PV (Fonte: Fernandes, 2002)

Profundidade h do PV e diâmetro D de saída (m)	Altura " h_c " da chaminé (m)	Diâmetro " D_b " do balão (m)
$h \geq 1,50$ e qualquer D	$h_c = 0,30$	$D_b = D$
$1,50 < h < 2,50$ e $D \geq 0,60$	$h_c = 0,30$	$D_b = 1,20$
$1,50 < h < 2,50$ e $D > 0,60$	$h_c = 0,30$	$D_b = D + 1,20$
$h > 2,50$ e $D \geq 0,60$	$0,30 < h_c < 1,00$	$D_b = 1,20$
$h > 2,50$ e $D > 0,60$	$0,30 < h_c < 1,00$	$D_b = D + 1,20$
Para PV quadrangular $D_b =$ aresta		

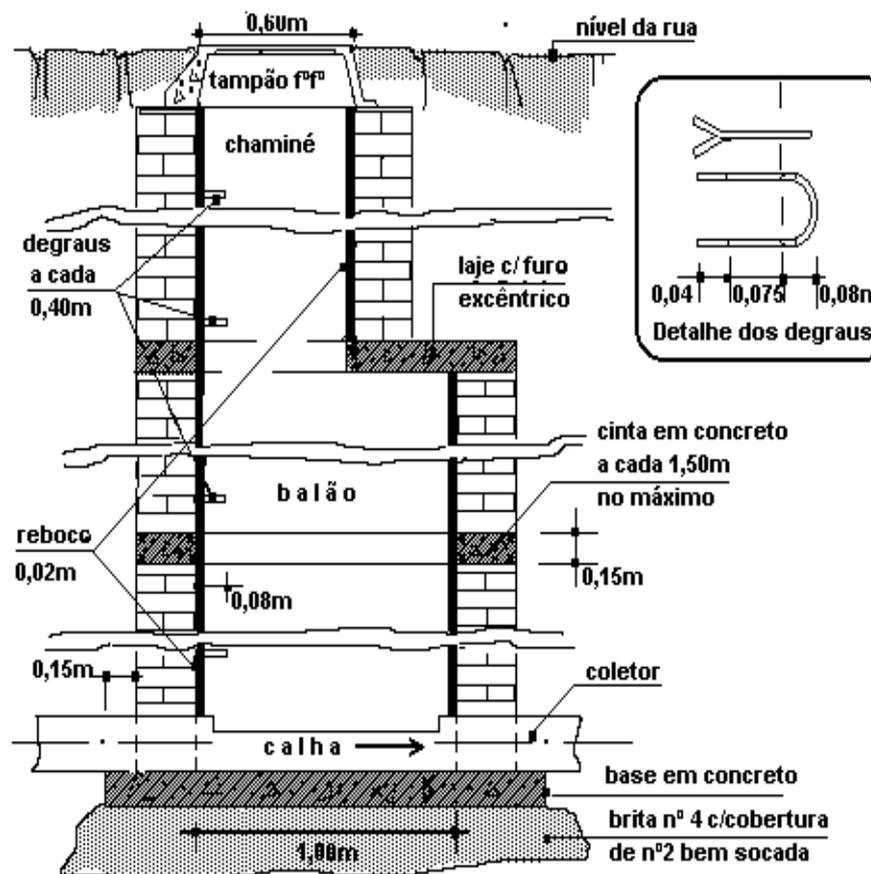


Figura 17 - Poço de visita em alvenaria de tijolos (Fonte: Fernandes, 2002)

4. ÁREAS DE ESTUDO

As áreas de estudo localizam-se no Bairro da Boa Vista na cidade de Recife no estado de Pernambuco (Figuras 18 e 19).



Figura 18 - Mapa de Pernambuco (FONTE: SITE GUIA DE FÉRIAS)



Figura 19 - Mapa dos Bairros do Recife (FONTE: PREFEITURA DO RECIFE)

Recife trata-se de uma cidade que historicamente não foi planejada com uma devida atenção à drenagem. Atualmente, a cidade conta com rede de microdrenagem, composta por galerias e canaletas, com uma extensão de cerca de 1000 km, porém apresenta seguimentos subdimensionados por causa de um elevado índice de impermeabilização de algumas localidades, aumentando a carga de escoamento superficial, comprometendo o sistema. Outro ponto negativo é o sistema de esgotos que é presente de maneira reduzida na rede pública, sendo comum encontrar ligações clandestinas nas redes de drenagem, comprometendo a tubulação.

Nesse contexto de alta impermeabilização, encontram-se inseridas as áreas de estudo deste trabalho, a Avenida Conde da Boa Vista a Rua Gonçalves Maia (Figuras 20 e 21).



Figura 20 - Avenida Conde da Boa Vista (Fonte: Google Earth)



Figura 21 - Rua Gonçalves Maia (Fonte: Google Earth)

4.1. Avenida Conde da Boa Vista

Originalmente uma área de mangue intransitável, desde 1756 começaram as mudanças de sua paisagem com a construção de grandes casarões, tornando-se uma área residencial. Hoje a avenida é um dos principais centros comerciais de Recife, por onde passam mais de 20 mil veículos e 40 mil pessoas por dia (Figura 22). A avenida possui cerca de 2 km de extensão e entre os anos de 2007 e 2008, foi feita a última grande intervenção de sua paisagem com a construção do corredor leste-oeste com implantação de novas caixas de drenagem. Porém essas novas caixas de drenagem não impedem o acúmulo de água em certos pontos da avenida, o que questiona seu desempenho. O lixo jogado pela população dificulta um melhor funcionamento do sistema de drenagem, sendo a falta de consciência pública um dos fatores que prejudicam a drenagem na localidade.



Figura 22 – À esquerda a Avenida no passado, à direita Avenida hoje

4.1.1. Análise da Situação Atual

Os principais tipos de enchentes em áreas urbanizadas são: (i) devido à urbanização; (ii) devido à ocupação em áreas ribeirinhas; (iii) devido à problemas localizados. (TUCCI, 1997)

Na Avenida Conde da Boa Vista o primeiro e o terceiro tipo de enchentes são observados. Problemas devido à urbanização referem-se à impermeabilização do solo, que pode ser observada na localidade, como a ausência de áreas verdes e áreas permeáveis. A via principal da Avenida é construída em placa de concreto e as calçadas são de blocos argamassados (Figura 23). Enchentes devido a problemas localizados são produzidas por obstruções ao escoamento. Isso pode também ser observado, onde as produções de lixo deixadas pela população nas bocas-de-lobo impedem o escoamento das águas pluviais.



Figura 23 - Calçada da Av. Cde da Boa Vista

A drenagem ao longo da avenida é feita basicamente por bocas-de-lobo distribuídas nas calçadas e nas aberturas no meio-fio.

As bocas-de-lobo presentes na Avenida Conde da Boa Vista em sua maioria são as simples, mas também há forte presença das grelhas. O início da avenida é o cruzamento com a Rua da Aurora, onde já começam problemas com a drenagem.

Houve um aumento das calçadas para a instalação do Corredor Leste-Oeste, onde existem bocas-de-lobo novas, instaladas nas calçadas, e também algumas antigas que foram mantidas (Figuras 24 e 25). Porém quando chove, há uma lâmina de água que fica acumulada na avenida, isso ocorre porque não existe sarjeta nesse trecho e a comunicação da via com as bocas-de-lobo da calçada acontecem por meio de pequenas tubulações no meio-fio (Figura 26). No início da avenida, até a esquina com a Rua do Hospício, as bocas-de-lobo existentes localizam-se nas esquinas (Figuras 27).



Figura 24 - Bocas-de-lobo na calçada



Figura 25 - Boca-de-lobo antiga



Figura 26 - Ausência de sarjeta e bocas-de-lobo



Figura 27 - Bocas-de-lobo nas esquinas

Um problema bastante visível foi o lixo presente ao longo da via jogado pela população, onde sua presença atrapalha o escoamento das águas pluviais

pelas bocas-de-lobo. A presença de barraquinhas de lanches ao longo da avenida contribui para o acúmulo de lixo, pois além dos consumidores, há também os comerciantes que geram resíduos sólidos e por muitas vezes, também geram líquidos, que são despejados diretamente das bocas-de-lobo, principalmente nas grelhas das calçadas (Figuras 28 e 29).



Figura 28 - Presença de comércio ilegal – uma fonte geradora de lixo



Figura 29 - Presença de lixo

No dia em que as fotos foram feitas, a EMLURB estava fazendo a limpeza das bocas-de-lobo e poços de visita, onde se pode observar na Figura 27 que o lixo ali presente já eram resíduos novos, mostrando a falta de consciência dos transeuntes em relação à participação do Sistema de Drenagem Urbana da cidade.

As bocas-de-lobo simples têm como principal vantagem que as obstruções por resíduos sólidos são menos freqüentes por ter aberturas maiores, porém o que se observa na Avenida Conde da Boa Vista são aberturas pequenas ou tapadas, podendo ser facilmente obstruída a passagem com o lixo (Figura 30).

As bocas-de-lobo com grelha estão presentes na maioria das vezes em esquinas, sendo também alvo do lixo, que aliados ao carreamento de materiais, como areia, acabam por atrapalhar o escoamento da água ate as galerias (Figura 31).



Figura 30 - Abertura pequena da boca-de-lobo sendo obstruída por lixo



Figura 31 - Obstrução da boca-de-lobo com grelha

Outra observação feita em campo foi que nas entradas de estacionamentos ao longo da via, existem bocas-de-lobo simples, que com o peso dos veículos que passam por cima das mesmas acabam recalcando e diminuindo a abertura, como pode ser observado na Figuras 32 e 33.



Figura 32 - Entrada do estacionamento do Banco Santander



Figura 33 - Entrada do estacionamento de uma loja de bijuterias

4.2. Trecho da Rua Gonçalves Maia

4.2.1. Análise da Situação Atual

A Rua Gonçalves Maia é importante por abrigar o Consulado Americano em Recife, tendo um movimento constante de pessoas. Esse trecho é um dos mais críticos do Bairro da Boa Vista, alagando bastante quando ocorrem chuvas (Figura 34).

Na Rua Gonçalves Maia, assim como na Avenida Conde da Boa Vista, são observadas enchentes devido à urbanização e à problemas localizados



Figura 34 – Rua Gonçalves Maia alagada (Fonte: <www.g1.com> Acesso em 23 de julho de 2011)

Além de ter uma diferença de nível no centro do quarteirão que abriga o Consulado fazendo com que as águas pluviais se acumulem nesse trecho, outros fatores agravam esse acúmulo de água, além do lixo presente, como em outras partes da cidade, pode-se ver obstrução da sarjeta, seja por rampas para estacionamento, como também areia e materiais finos. Também existe no local poucas bocas-de-lobo, uma maior presença delas poderia ajudar no escoamento mais rápido. Isso pode ser observado nas Figuras 35 e 36.



Figura 35 - Acúmulo de sedimentos nas sarjetas



Figura 36 - Obstrução da sarjeta por rampas de estacionamentos

5. SIMULAÇÃO CDREN

O CDren é um sistema automático para dimensionamento de redes urbanas de drenagem pluvial. Esta versão foi desenvolvida com o apoio de Tubos e Conexões Tigre Ltda., e destina-se ao dimensionamento de redes utilizando tubulações em PVC RibLoc ou concreto. (Guia de Utilização, 1998)

A simulação foi feita com os dados cedidos EMLURB para a Rua Gonçalves Maia e complementados com o uso do Google Earth para o trecho que é delimitado pela Avenida Conde da Boa Vista e a Rua do Progresso.

5.1. Precisão do Google Earth

Existem estudos sobre a precisão do Google Earth para algumas cidades do Brasil, dentre elas pode-se citar, São Paulo e Juiz de Fora.

A origem das comparações tomou como base redes de precisão centimétrica implantadas nestas cidades. Foram determinadas duas redes: a primeira definindo uma poligonal básica, envolvendo todo município e vinculada aos vértices da rede IBGE, e uma rede suplementar para a determinação dos pontos foto identificáveis (HVs) com equipamentos GPS de dupla frequência e precisão horizontal nominal: $3 \text{ mm} + 1 \text{ ppm} \times D$, sendo D a distância em quilômetros. Entre a distribuição dos erros da poligonal principal e erros de irradiação para a obtenção dos HVs as precisões das coordenadas planimétricas mantém-se na ordem do decímetro. Com os resultados dos pontos obtidos no Datum SAD69-96 foram feitas as transformações para o sistema do Google Earth, o WGS 84. (RIBAS, 2007)

Para esse estudo foram analisados 17 pontos diferentes que obtiveram os resultados da tabela 4. Onde segundo as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia, quanto à exatidão e classificação de uma carta de classe A, 90% dos pontos bem definidos, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica – Planimétrico. Para cartas classe A este valor é de 0,5 mm.

Tabela 4 - Resultado da precisão do Google Earth

Cidade	Classe	Escala
São Paulo	A	1:25000
Curitiba	A	1:25000
Juiz de Fora	A	1:20000

Com o auxílio do Google Earth foram obtidas as curvas de nível para entrar no programa (Figura 38).

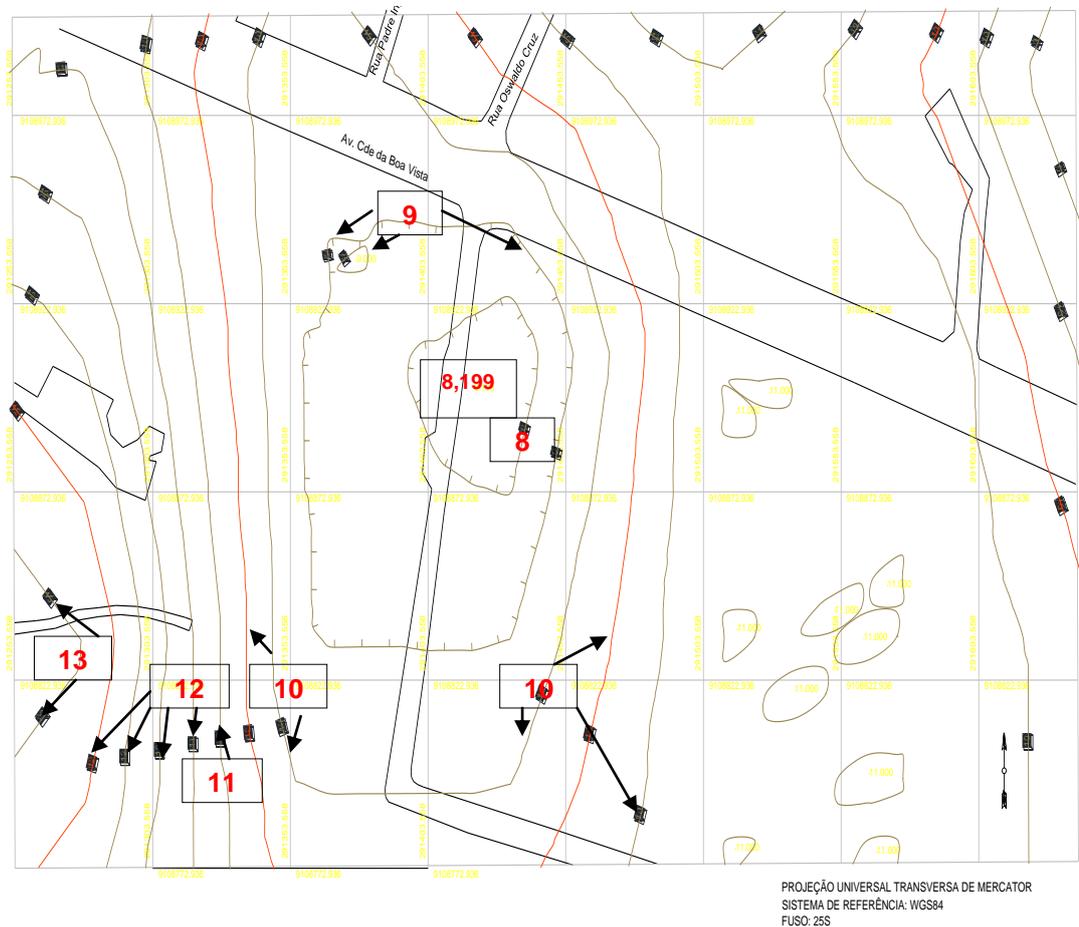


Figura 38 - Curvas de nível da Rua Gonçalves Maia

Foi admitido que em todo o trecho a sarjeta possui as mesmas dimensões, o que na prática não é verdade, como pode ser visto na Figura 35. Os coeficientes de rugosidade de Manning para a sarjeta e para a via foram obtidos na tabela 5. Onde a superfície da sarjeta é revestimento com paralelepípedos argamassados e o revestimento da via é de asfalto de textura áspera.

Tabela 5 - Coeficiente de Manning "n" (Fonte: Fernandes, 2002)

Superfície	"n"
Sarjeta em concreto com bom acabamento	0,012
Revestimento de asfalto	
a) Textura lisa	0,013
b) Textura áspera	0,016
Revestimento em argamassa de cimento	
a) Acabamento com espalhadeira	0,014
b) Acabamento manual alisado	0,016
c) Acabamento manual áspero	0,02
Revestimento com paralelepípedos argamassados	0,02
Sarjetas com pequenas declividades longitudinais (até 2%) sujeitas a assoreamento "n" correspondente a superfície +0,002 a 0,005 n	

O programa utilizou para a equação IDF de Olinda Figura 39. Usou-se essa equação, pois para Pernambuco o programa possui duas equações a de Petrolina e a de Olinda, sendo essa última mais próxima da área de estudo. Foram admitidos 5 anos de tempo de retorno e 100 mm/h de precipitação. O coeficiente Run-off foi obtido na tabela 6.

Tabela 6 - Coeficiente Run off "C"

Natureza da Superfície	Coeficiente "C"
Pavimentadas com concreto	0,80 a 0,95
Asfaltadas em bom estado	0,85 a 0,95
Asfaltadas e má conservadas	0,70 a 0,85
Pavimentadas com paralelepípedos rejuntados	0,75 a 0,85
Pavimentadas com paralelepípedos não rejuntados	0,50 a 0,70
Pavimentadas com pedras irregulares e sem rejuntamento	0,40 a 0,50
Macadamizadas	0,25 a 0,60
Encascalhadas	0,15 a 0,30
Passeios Públicos (calçadas)	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
Terrenos livres e ajardinados	
1) Solos arenosos	
$i \leq 2\%$	0,05 a 0,10
$2\% < i < 7\%$	0,10 a 0,15
$i \geq 7\%$	0,15 a 0,20
2) Solos pesados	
$i \leq 2\%$	0,15 a 0,20
$2\% < i < 7\%$	0,20 a 0,25
$i \geq 7\%$	0,25 a 0,30

Dados Gerais para o Cálculo

Galerias **Ruas** **Sarjetas** **Chuva** **D.Estruturais** **Bocas de Lobo**

Dados:

Duração (min): 10

Período de Retorno: 5

C (coeficiente de run-off): 0,80

Porcentagem Impermeável: 80,0

Curva IDF: peolind4.idf Olinda (PE) **Altera IDF**

Utiliza cálculo automático de Intensidade de Precipitação

Utiliza cálculo automático do Coeficiente de Escoamento

OK **Cancela**

Figura 39 - Dados de chuva

Os dados foram entrados no programa em janelas como mostram as Figuras 40 e 41.

Dados Geométricos		Dados Hidrológicos	
Dados do Trecho:		Nó Inicial:	P1
Nome do trecho:	S1	Nó Final:	P2
Extensão (m):	82,60		
Cota - montante (m):	0,540		
Cota - jusante (m):	0,000		
Declividade do trecho (m/m):	0,007		
Largura da Sarjeta:	0,15		
Altura da Sarjeta:	0,10		
Tangente θ:	10,0		
n Manning:	0,020		
Sarjetão:	<input type="checkbox"/>		
nº de Bocas de Lobo:	2		
Largura da Via:	9,0		
n Manning:	0,160		
Declividade Transversal da Via (%):	3,0		
Classe da Via:	Secundária		

Figura 40 - Dados de entrada para a sarjeta

Dados Geométricos		Dados Hidrológicos	
Área (ha):			
Valor a ser utilizado:	3,4200		
Valor obtido da planta:	0,2045		
Chuva:			
i (mm/h):	100,00		
Período de Retorno (anos):	5,00		
Valor IDF:	123,17		
Coeficiente de Run-Off:			
Coef. RunOff:	0,80		
% Impermeável:	90		
Horner:	$C = 0,364 \cdot \log td + 0,0042 \cdot P - 0,145 =$	0,60	
Tempo de Concentração:			
Tempo de Concentração - Tc (min):		5,94	
Kerby:	$t_c = 1,44 \left(\frac{L \cdot n}{\sqrt{s}} \right)^{0,47} =$	5,95	
George Ribeiro:	$t_c = \frac{0,016 L}{(1,05 - 0,2 \cdot p) \cdot (100 \cdot s)^{0,04}} =$	1,31	

Figura 41 - Dados de entrada para a sarjeta

Após serem desenhadas as sarjetas, indicadas as quantidades de bocas-de-lobo, posições de poços de visita e diâmetro das galerias, obteve-se a seguinte estrutura (Figura 42).

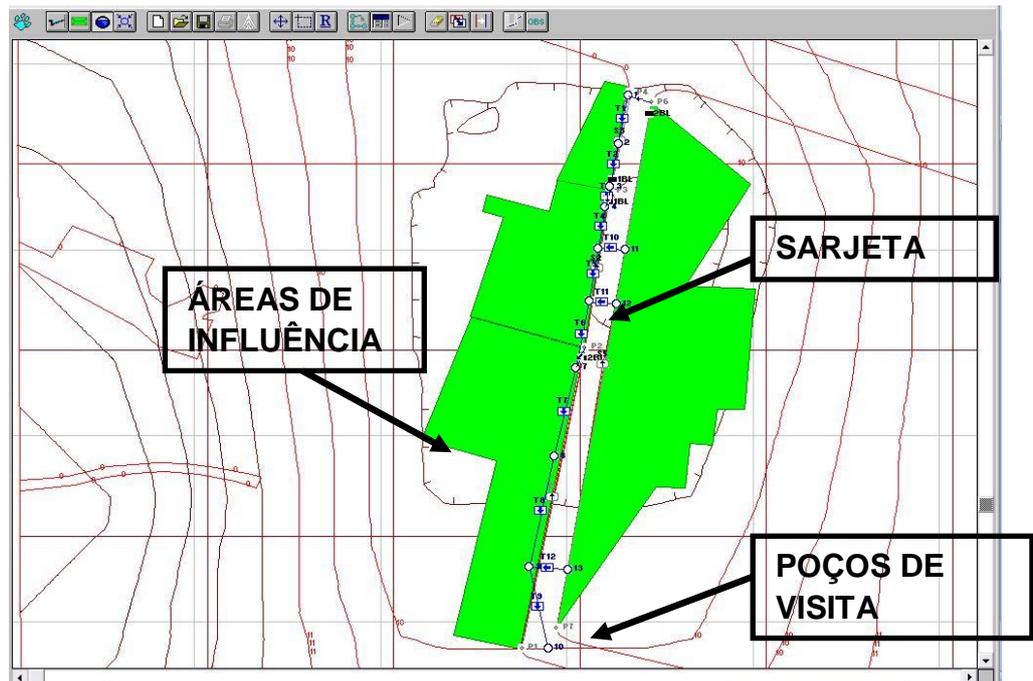


Figura 42 - Desenho da Rua Gonçalves Maia no Cdren

Após a entrada dos dados, o programa iniciou a análise, mostrando uma luz amarela característica de que existe algum problema com o sistema de drenagem existente, esse problema pode ser visto, na opção observações do Cdren (Figuras 43 e 44).

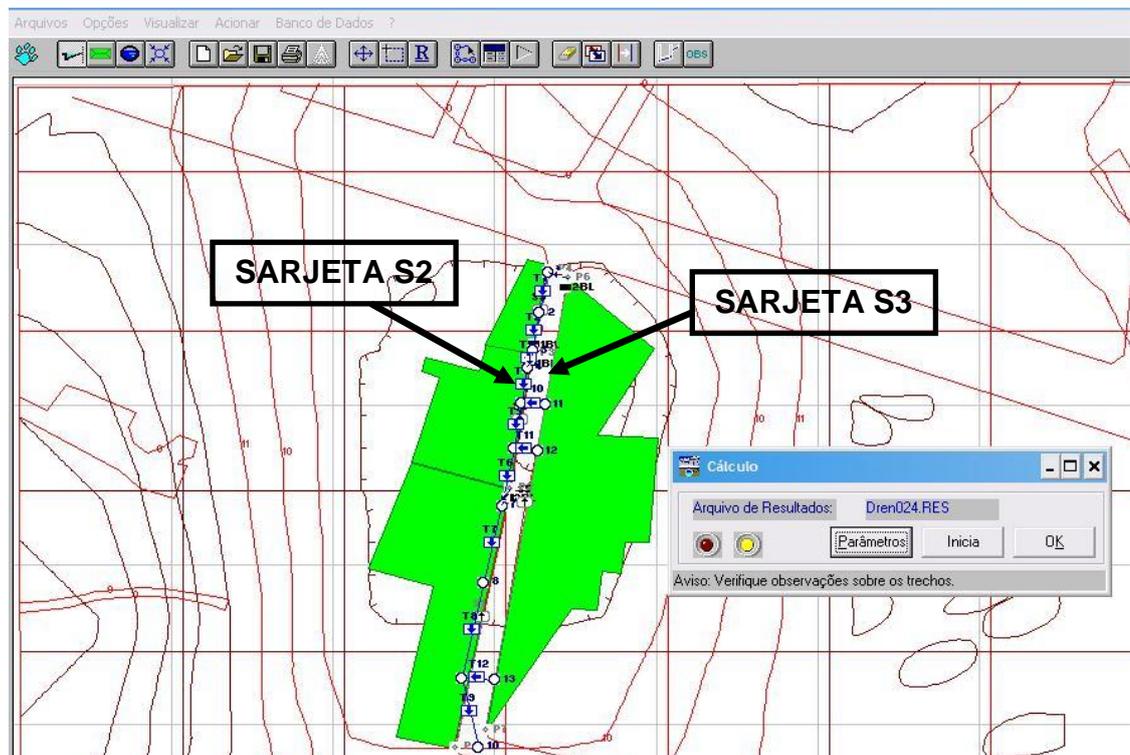
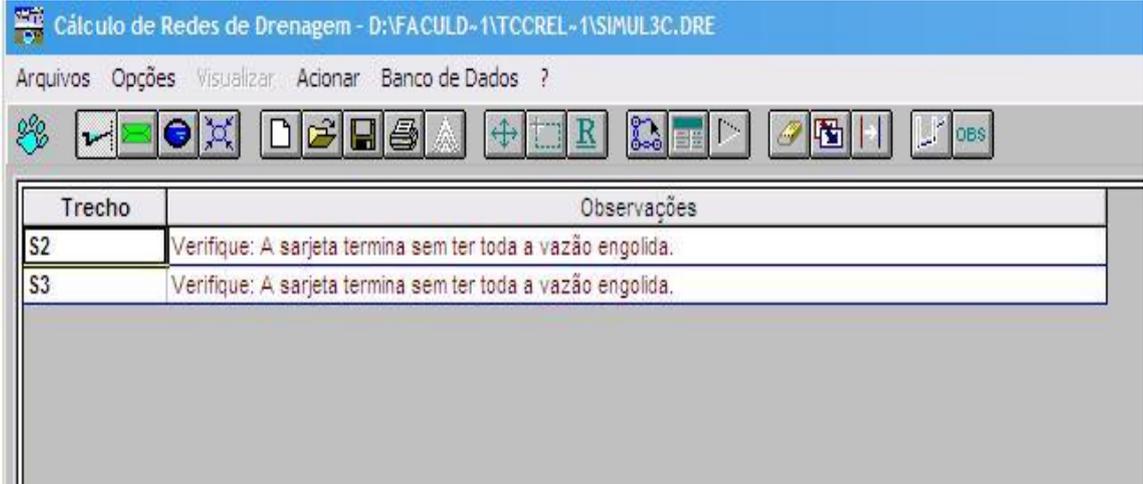


Figura 43 - Resultado do Cdren



Trecho	Observações
S2	Verifique: A sarjeta termina sem ter toda a vazão engolida.
S3	Verifique: A sarjeta termina sem ter toda a vazão engolida.

Figura 44 - Resultado do Cdren

Apesar da simulação no Cdren ser simplificada e não considerar o nível da maré, que influencia bastante a drenagem da região em estudo, e ter sido usada as mesmas dimensões da sarjeta ao longo do trecho em análise, tornando-a mais favorável, nota-se que o sistema de drenagem não está absorvendo toda a chuva e por isso existem alagamentos no local.

6. FINANCIAMENTO DA DRENAGEM URBANA

A manutenção periódica também é um meio de fazer com que as galerias funcionem bem, já que inspeções são necessárias para averiguar defeitos, obstruções e excesso de lixo entre os trechos. Um problema enfrentado em relação à manutenção é que nenhuma porcentagem fixa do orçamento da cidade é direcionada para isso, sendo o orçamento atual insuficiente para as atividades de manutenção e instalações de novos componentes de drenagem. Como solução a este problema tem-se a criação de uma taxa, como sugere Gomes, 2008.

A sugestão da cobrança de taxa para financiar a drenagem se embasa na Lei Federal 9433 que instituiu a *Política e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos*, que possibilita a cobrança pelos lançamentos dos esgotos pluviais, nos cursos d'água, por parte dos municípios com base nos seguintes artigos:

“Art. 12 Estão sujeitos a outorga pelo Poder Público os direitos dos seguintes usos dos recursos hídricos:

Inciso III Lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final.

Inciso V Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um curso de água.

Art. 20 Serão cobrados os usos de recursos hídricos sujeitos à outorga, nos termos do artigo 12 desta lei.” (GOMES, 2008)

A taxa de drenagem seria cobrada independente de outros impostos a fim de permitir o consumidor visualizar o que está sendo pago e proporcionar independência e sustentabilidade para ações de manutenção e operação.

A cobrança da taxa deverá ser proporcional a área impermeabilizada de cada imóvel, onde poderá ser adotada uma política de redução de valores para imóveis que utilizarem técnicas compensatórias de drenagem, retendo ou reduzindo os volumes de águas de chuva.

Uma metodologia que poderia ser usada para o cálculo da taxa de drenagem é a Metodologia Alternativa 2 (GOMES, 2008). Essa alternativa poderia ser empregada na cidade do Recife, pois apresenta valores diferentes de cobrança para comunidades de baixa renda, onde essa taxa junto com a cobrança dos serviços de água, esgoto, drenagem e IPTU não podem ultrapassar 5% da renda familiar. Para compensar as perdas de receita com as edificações menos favorecidas, para os valores das comunidades mais favorecidas são acrescidas em sua taxa a renda perdida.

Para calcular o valor de majoração da taxa V_m , leva-se em consideração, por exemplo, a relação entre o número de edificações da bacia X

(comunidades de baixa renda), com o número de edificações da bacia Y (demais comunidades), ambos com a mesma taxa de impermeabilização, multiplicada pelo valor P_e , e pelo valor da taxa de drenagem da bacia X que ultrapasse o limite de despesa preconizado, como se pode ver na equação (9):

$$V_m = (T_{mX} \cdot P_e) \cdot \frac{N_{edfX}}{N_{edfY}} \quad (9)$$

Onde se tem: T_{man} = taxa de drenagem relativa à operação e manutenção dos sistemas, em R\$;

P_e é a parcela de desconto da taxa para a população de baixa renda, calculado por $P_e = 1 - \frac{V_{max}}{T_x}$;

V_{max} = Valor máximo anual do rendimento familiar para comprometimento com o pagamento da taxa de drenagem, com base no limite de 5% preconizado por esta alternativa;

T_x = Taxa de drenagem devida anualmente pelo imóvel;

N_{edfX} = número de edificações na sub-bacia X;

N_{edfY} = número de edificações na sub-bacia Y.

A obtenção do número de edificações em cada sub-bacia poderá ser realizada através do cadastro imobiliário, o qual deverá ser atualizado periodicamente (GOMES 2008).

7. PRINCIPAIS RECOMENDAÇÕES

7.1. Avenida Conde da Boa Vista

Para um funcionamento satisfatório do sistema de drenagem da Avenida Conde da Boa Vista são necessárias algumas medidas importantes. No início da via até a Rua do Hospício onde as calçadas foram alargadas, poderiam ser feitas bocas-de-lobo nas calçadas, com o objetivo de facilitar o escoamento da água que ali fica retida quando chove. Outra medida é serem feitas sarjetas nesse trecho, pois quando ocorrerem precipitações, as águas pluviais escoariam e entrariam pelos canos existentes no meio-fio.

No restante da avenida, uma atenção especial deveria ser tomada nas bocas-de-lobo existentes em entradas de estacionamentos, a fim de evitar que os mesmos sejam tapados pelo peso dos veículos.

7.2. Rua Gonçalves Maia

Para um melhor escoamento da Rua Gonçalves Maia é necessária a desobstrução das sarjetas ao longo da via, assim como uma manutenção e limpeza mais atuante por parte da Emlurb. Também é importante a fiscalização de obras que atrapalhem o escoamento, como rampas de estacionamentos, por exemplo, a fim de que as sarjetas fiquem livres para uma livre passagem das águas pluviais.

Um estudo sobre a viabilidade de construção de um micro reservatório de retenção seria interessante para essa rua, a exemplo do que foi feito no Bairro do Espinheiro onde havia muitos alagamentos. O micro reservatório de retenção tem por objetivo o armazenamento de águas pluviais por curtos períodos com a finalidade de controle de inundação. Essa seria uma solução interessante, já que em dias de fortes chuvas e maré cheia, a comporta Derby-Tacaruna é fechada. Portanto a água ficaria armazenada no micro reservatório de retenção até que a comporta fosse novamente aberta, evitando assim, que as águas pluviais alagassem a Rua Gonçalves Maia.

7.3. Outros Aspectos

Outras medidas podem ser tomadas para ajudar um melhor escoamento das águas da chuva. Nesse contexto a população tem um papel importante, pois o lixo jogado pelas pessoas nas ruas é levado pela chuva para as bocas de lobo, ocasionando entupimentos e assim atrapalhando o funcionamento das galerias de drenagem (Figura 45). Campanhas de conscientização são importantes para que a população saiba de seu papel no Sistema de Drenagem e que passe a colaborar para o bom funcionamento do mesmo. Além de disso, outra solução seria a colocação de grades nas bocas de lobo com o objetivo de impedir a entrada do lixo nas galerias.



Figura 45 - Boca de lobo localizado na Av. Cde da Boa Vista

8. CONCLUSÕES

Mudanças nos regimes hidrológicos e hidráulicos são problemas que são agravados pela impermeabilização de áreas. Essas mudanças podem ser vistas nas grandes cidades, como Recife, por exemplo, onde existem cada vez menos solos naturais e mais áreas construídas.

Novos conceitos de se pensar sobre Drenagem Urbana vêm surgindo, essa nova ideia tem como principal foco pensar na bacia como um todo, com uma maior conscientização ecológica e evolução tecnológica.

Os problemas de Drenagem Urbana abordados neste trabalho existem devido ao excesso de urbanização nos centros urbanos. No caso da Avenida Conde da Boa Vista e Rua Gonçalves Maia, áreas onde antes existiam mangues e que foram sofrendo mudanças em sua paisagem, no passado eram grandes casarões com grandes jardins e na situação vista hoje, existe um mundo de concreto, onde se observam a cada evento pluviométrico alagamentos que geram um caos no trânsito, ocasionando desconforto às pessoas que precisam passar pela localidade e engarrafamentos, que atrapalham uma parte da cidade, pois a área de estudo localiza-se no centro.

Uma maneira de se pensar de forma mais concreta sobre Drenagem é se formular um Plano Diretor de Drenagem Urbana, como foi discutido neste trabalho. É indiscutível a importância de uma fiscalização mais eficiente sobre as instalações irregulares de moradias e de incentivos a áreas verdes, onde medidas como essas já poderiam evitar perdas materiais e de vidas.

Uma abordagem mais precisa sobre as áreas de estudo foi feita, onde visitas em campo e uma simulação com o software Cdren foram realizadas. Muitos problemas existem na Avenida Conde da Boa Vista e na Rua Gonçalves Maia, sejam eles estruturais, como por exemplo, ausência de sarjetas, bocas-de-lobo que não comportam a vazão de água (como foi detectado através do Cdren); sejam eles sociais e governamentais, como excesso de lixo, falta de manutenção e obstrução de sarjetas. O que se percebe é que falta uma maior organização no que se refere à drenagem na cidade que é dificultada por não ter nenhuma porcentagem fixa do orçamento da cidade destinado a isso. Foi sugerido no presente trabalho um estudo para que seja cobrada uma taxa para financiar a manutenção e limpeza dos componentes do Sistema de Drenagem, pois essas ações já ajudariam e melhorariam bastante o escoamento das águas pluviais diminuindo muitos pontos de alagamento.

Outras soluções também existem para resolver os problemas de alagamentos nas áreas de estudo. Execução de novas bocas-de-lobo e sarjetas na Avenida Conde da Boa Vista no trecho em que cruza com a Rua da Aurora até a Rua do Hospício. Ainda para a avenida, atenção as bocas-de-lobo

que estão com aberturas tapadas, ou parcialmente obstruídas. Para a Rua Gonçalves Maia, estudo de viabilidade de construção de micro reservatório de Detenção e desobstrução das sarjetas. Por fim, campanhas para conscientizar à população sobre seu papel na drenagem, fazendo-a se sentir parte do que causa o problema para assim ajudar a consertá-lo.

O Sistema de Drenagem Urbano funcionando perfeitamente é um benefício para toda a sociedade, onde as vantagens políticas para o gestor público seriam altamente positivas, o benefício para a população, inestimável, e, para natureza, a garantia de sua perpetuidade. (MELO, 2007)

9. BIBLIOGRAFIA

- Botelho, Manoel Henrique Campos (1998) - Engenharia das águas pluviais nas cidades. 254p.
- Tucci (1995) – Drenagem Urbana.
- Milken, Paulo Sampaio (1978) - Engenharia de drenagem superficial.
- Melo, Marcos J.V. (2007) – Medidas estruturais e não-estruturais de controle de escoamento superficial aplicáveis na Bacia do Rio Frágoso em Olinda – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental Tese de Doutorado.
- Tucci (1997) - Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção.
- Gomes (2008) - Financiamento da drenagem urbana: uma reflexão.
- DNIT (2006) - Manual de Drenagem em Rodovias.
- Netto, Azevedo (1998) - Manual de hidráulica.
- Fernandes, C. (2002) - Microdrenagem - Um Estudo Inicial - DEC/CCT/UFPB, Campina Grande, 2002, 196p.
- Ribas, Wanderley (2007) os limites posicionais do google earth.
- Manual Cdren (1998) - versão 1,0.
- Jc online - Especial Avenida Conde da Boa Vista, acessado em 31/10/2011.
- Site da Prefeitura do Recife – Corredor Leste-Oeste, acessado em 01/11/2011.
- G1 – Rua Gonçalves Maia alagada, acessado em 23 de julho de 2011.
- Blog Retalhos – Avenida Conde da Boa Vista no passado, acessado em 24 de julho de 2011.
- Blog Bairro da Boa Vista – Avenida Conde da Boa Vista, acessado em 24 de julho de 2011.
- Site Viagem de Férias – Mapa de Pernambuco, acessado em 13 de agosto de 2011.