



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

ADRIELLY RODRIGUES DE SALES

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA
ESTUDO DE CASO: SOUSA-PB**

POMBAL - PB

2017

ADRIELLY RODRIGUES DE SALES

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA
ESTUDO DE CASO: SOUSA-PB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Dr. Prof. Manoel Moisés Ferreira Queiroz

POMBA - PB

2017

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA SETORIAL
CAMPUS POMBAL/CCTA/UFCG**

MON
S163a

Sales, Adrielly Rodrigues de.

Avaliação da eficiência do sistema de drenagem urbana: estudo de caso Sousa - PB / Adrielly Rodrigues de Sales. – Pombal, 2017. 48f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2017.

"Orientação: Prof. Dr. Manoel Moisés Ferreira de Queiroz".

1. Drenagem urbana. 2. Inundações. 3. Enchentes urbanas. 4. Alagamentos. I. Queiroz, Manoel Moisés Ferreira. II. Título.

UFCG/CCTA

CDU 626.86(043)

ADRIELLY RODRIGUES DE SALES

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA
ESTUDO DE CASO: SOUSA-PB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovado em: ____ de _____ de ____

BANCA EXAMINADORA

Orientador –

Examinador Interno –

Examinador Externo

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe que sempre fez tudo por mim, a qual se manteve presente em todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo o dom da vida e por ter permitido a alcançar uma graduação.

Agradeço a minha mãe que é um exemplo de mulher guerreira a qual sempre esteve comigo em todos os momentos me dando força e apoio e servindo de modelo pra pessoa que sou hoje, assim como todos os meus familiares que contribuíram direta e indiretamente.

Agradeço a todos os meus amigos que me acompanharam nesta caminhada durante todos esses anos, em especial a Camila Manguiera e Marina Oliveira Batista que em momentos difíceis se fizeram presente de modo a me estimular a atingir meus objetivos, assim como Maria Juliana Lourenço e José Ronildo que sempre me ajudaram na vida acadêmica me proporcionando além de uma amizade que vou levar pra toda vida uma de troca experiências singular.

Agradeço ao meu orientar Professor Manoel Moisés Ferreira de Queiroz, pelos ensinamentos ao longo do curso assim como auxilio no desenvolvimento deste trabalho.

SALES, A., R. **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA. ESTUDO DE CASO: SOUSA-PB.** 2017. 48 Fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB. 2017.

RESUMO

O crescimento das cidades tem se apresentado de maneira proporcional aos impactos socioambientais gerados a partir do uso e ocupação do solo, através da impermeabilização e ocupações alocadas em áreas de risco, o que não tem acompanhado esse desenvolvimento são as medidas de controle que deveriam ser utilizadas de forma integrada com os diversos sistemas (infraestrutura, zoneamento, licenciamento ambiental, entre outros), de modo a formar uma corrente entre as técnicas estruturais e a regularização de leis a nível municipal a fim de evitar a ocorrência de enchentes e conseqüentemente prejuízos à população em questão. O presente trabalho procurou avaliar o atendimento do sistema de drenagem a sua demanda local na cidade Sousa – PB através da escolha de uma das ruas que representasse bem a temática em questão dado seu histórico de alagamentos, a partir disso foi realizada a análise topográfica do trecho com o auxílio da ferramenta Google Earth juntamente a idas ao campo para constatar o ponto crítico do mesmo, localizado em um ponto mais baixo da rua onde acontece o encontro dos fluxos e conseqüentemente o represamento das águas, devido à presença de um sistema de amortecimento de precipitações falho com poucos componentes de drenagem, assim como a ausência de leis e documentos referentes ao tema na cidade, dito isto o trabalho se desenvolveu de modo a contribuir com a sociedade na busca por possíveis soluções legais e técnicas que atendessem as necessidades da área, visto que é uma realidade marcante em todo o país.

Palavras chave: Bocas de lobo. Medidas de controle na fonte. Eventos de cheia.

SALES, A., R. **EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE URBAN DRAINAGE SYSTEM. CASE STUDY: SOUSA-PB.** 2017. 48 Fls. Graduation in Environmental Engineering - Federal University of Campina Grande, Pombal-PB. 2017.

ABSTRAT

The growth of cities has been presented in a manner proportional to the socio-environmental impacts generated from the use and occupation of the soil, through waterproofing and occupations allocated in risk areas, which has not accompanied this development are the control measures that should be used (Infrastructure, zoning, environmental licensing, among others), in order to form a chain between structural techniques and the regulation of municipal laws in order to avoid the occurrence of floods and consequently damage to the population in question. The present work sought to evaluate the service of the drainage system to its local demand in the city of Sousa - PB through the choice of one of the streets that represented well the theme in question given its history of flooding, from this was carried out the topographic analysis of the stretch With the help of the Google Earth tool together with trips to the field to verify the critical point of the same, located in a lower point of the street where the encounter of the flows happens and consequently the damming of the waters, due to the presence of a damping system of Precipitations failed with few components of drainage, as well as the absence of laws and documents referring to the theme in the city, said the work was developed in order to contribute with the society in search of possible legal and technical solutions that would meet the needs of the area, Since it is a marked reality throughout the country.

Key words: Mouths of wolf. Control measures at source. Full events.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Características do balanço hídrico numa bacia urbana.....	16
Figura 2 Hidrograma de área urbanizada e não urbanizada.	17
Figura 3 Áreas com risco de inundação.	18
Figura 4 Ilustração esquemática dos conceitos de canalização e reservação.	21
Figura 5 Seção da sarjeta.	25
Figura 6 Tipos de bocas de lobo.	26
Figura 7 Principais medidas estruturais e não estruturais de controle de enchente..	29
Figura 8 Mapa de caracterização do município de Sousa – PB.	32
Figura 9 Sequência de alagamento no mês de março de 2017.	33
Figura 10 Processo de urbanização no local de estudo.	35
Figura 11 Terreno baldio alagado em Sousa- PB.	36
Figura 12 Bocas de lobo.	38
Figura 13 Perfil de elevação de toda a extensão da rua.	39
Figura 14 Posicionamento das bocas de lobo no perfil de elevação.	39
Figura 15 Área de contribuição ao ponto crítico estudado e pontos críticos a montante.	40
Figura 16 Gráfico da precipitação do mês julho de 2017.	41
Figura 17 Altura de lâmina de água do alagamento provocado pela chuva do mês de julho de 2017.....	41
Figura 18 Sugestão da localização do reservatório de retenção.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais medidas de controle utilizadas na fonte.....	22
Tabela 2 - Principais elementos da rede de microdrenagem.	23
Tabela 3 - Quadro de medidas mitigadoras para o município.	44

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS.....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRAT	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. OBJETIVO GERAL	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1. INUNDAÇÕES	14
3.1.1. Inundações devido à urbanização.....	15
3.1.2. Inundações em áreas ribeirinhas	17
3.2. SISTEMA DE DRENAGEM URBANA	19
3.2.1 Na Fonte.....	19
3.2.2. Microdrenagem.....	22
3.2.3. Perfis longitudinal e transversal de ruas.....	24
3.2.4. Sarjetas e bocas de lobo.....	25
3.2.5. Galerias e poços de visita	26
3.2.6. Macrodrenagem.....	27
3.3. MEDIDAS DE CONTROLE DE ENCHENTES URBANAS.....	27
4. MATERIAS E MÉTODOS.....	31
4.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	31
5. RESULTADOS E DISCURSÃO.....	35
5.1. ESTUDO DE CASO	35
5.2. ANÁLISE DA REDE DE DRENAGEM	36
5.2.1 Considerações sobre a topografia	38
5.2.2. Ponto crítico	40
5.2.3. Resultados de um evento de precipitação na área de estudo	41
6. POSSÍVEIS SOLUÇÕES	42
7. CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

1. INTRODUÇÃO

No decorrer da história da humanidade sempre houve uma profunda ligação das cidades com os cursos de água. Esta dependência existe desde as primeiras aglomerações urbanas, devido sua localização, essa aproximação é caracterizada como fator de desenvolvimento, na proporção em que estes forneciam água para abastecimento, possibilidades para despejo de resíduos, asseguravam o transporte, a energia, proteção militar, etc (BATISTA, FREITAS, et al., 2007).

Na medida em que ocorria o processo de urbanização em ritmo acelerado, também ocorriam modificações profundas no uso do solo. Esse crescimento foi responsável por impactos ambientais e sociais constatados em alterações no ciclo hidrológico e no destino de águas pluviais.

A ocupação desordenada do solo e o desmatamento ocasionaram em efeitos negativos que modificam os elementos do ciclo hidrológico, atrapalham na infraestrutura dos recursos hídricos e conseqüentemente afetam a qualidade da água. A ausência de rede de esgotos junto à incompetência da distribuição e coleta de lixo contribui com a possibilidade de ocorrência de enchentes provocadas por entupimento de bueiros e galerias, acarretando veiculação de doenças (STEINER, 2011).

As enchentes urbanas são caracterizadas como um dos importantes impactos sobre a sociedade. Com a ampliação urbana ocorre a impermeabilização do solo por meio de telhados, ruas calçadas e pátios, entre outros, os quais atrapalham o processo natural de infiltração da água que passa a percorrer por condutos e contribuir para escoamento superficial. Quando o poder público perde o controle da urbanização ou não trabalha no melhoramento da capacidade da drenagem o acontecimento das enchentes cresce, junto com as perdas sociais, econômicas e ambientais. A falta de planejamento e regulamentação gera conseqüências que são sentidas em, praticamente, todas as cidades de grande e médio porte do país (TUCCI, 1995).

No Brasil, não se observa nenhum programa sistemático de controle de enchentes em qualquer nível. O que se observa são algumas atitudes isoladas por parte de algumas cidades, como a utilização de Plano Diretor (TUCCI, 1995), que segundo Tucci (1997) busca um planejamento e a distribuição da água em tempo espaço, com base no sentido que se da ocupação urbana associando ao

desenvolvimento da infraestrutura para evitar prejuízos econômicos e ambientais, controlar a ocupação de áreas de baixo risco de inundação por meio de restrições na área de alto risco e promover a convivência com as enchentes em áreas de baixo risco.

Diante disso é possível perceber vários problemas decorrentes deste tipo de situação, onde podemos encontrar a impermeabilização do solo, enchentes urbanas e a deficiência no processo de tomada de decisão de medidas mitigadoras por parte do poder público, os quais estão dentro da categoria de impactos ambientais, sociais e econômicos, promovendo a insatisfação da população em questão, devido aos acontecimentos de enchentes na cidade, diminuindo a quantidade e qualidade da água, assim como o aumento de deposição de material sólido.

É o caso do município de Sousa que sofre com a problemática em questão, enaltecendo a necessidade de estudos e projetos para a implantação de medidas eficientes, no setor de drenagem urbana, portanto, o presente trabalho apresenta como objeto de estudo o bairro Gato Preto na cidade de Sousa o qual servirá de base para avaliar quais as medidas técnicas, legais e comportamentais serão adotadas e verificar como funciona o sistema de drenagem no trecho selecionado.

Em se tratando de aspecto profissional, promover soluções para problemas de drenagem urbana no município, é de suma importância, já que o tema abordado trata de uma realidade de vários lugares no país que confrontar-se com os mesmo problemas de elevados indicadores de impermeabilização do solo, carência de planejamento ocupação do solo e ainda a inexistência de um Plano de Saneamento, infraestrutura para evitar prejuízos econômicos e ambientais, controlar a ocupação de áreas de baixo risco de inundação por meio de restrições na área de alto risco e promover a convivência com as enchentes em áreas de baixo risco.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficácia do sistema de drenagem urbano no trecho selecionado como objeto de estudo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar as ações dos poder municipal em relação aos problemas apresentados no sistema de drenagem do trecho.
- Identificar os pontos onde os problemas de drenagem são críticos no trecho selecionado.
- Propor medidas legais, técnicas e\ou comportamentais com base nos dados levantados visando à qualificação do sistema de drenagem na área urbana do município.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo aborda a construção teórica do trabalho final de conclusão de curso, discutindo de uma forma pontual os principais conceitos que servirão como suporte teórico para a melhor compreensão do estudo.

3.1. INUNDAÇÕES

Segundo o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – o censo de 2010, cerca de 84% da população brasileira reside em áreas urbanas. Para receber essa quantidade populacional, cidades são erguidas em velocidade cada vez mais acelerada, ignorando muitas vezes as normas urbanísticas válidas, ficando sujeita aos interesses listados pelas leis do mercado, o qual possui uma presença marcante no modelo atual de desenvolvimento das cidades, por via da verticalização acentuada ou pelo crescimento desordenado das cidades no país.

Tucci (1997), afirma que o resultado desse crescimento acelerado é facilmente percebido sobre todo o sistema voltado aos recursos hídricos, sendo alguns deles: abastecimento de água, transporte e tratamento de esgotos cloacal e pluvial.

Assim é observado o surgimento de variados problemas, principalmente os de natureza socioambiental, tais como: ocupação de áreas de risco (áreas de preservação permanente – (APPs), áreas com declividade marcante e sujeitas a deslizamentos, encostas, etc.), deficiência de serviços públicos, ausência/carência de saneamento básico, deficiência do sistema de drenagem, poluição, contaminação de mananciais, deposição irregular de resíduos sólidos, entre outros (BENINI, 2009).

Com as precipitações intensas frequentes em locais com solo impermeabilizado pela urbanização aliado a uma infraestrutura precária, ou até mesmo um sistema de drenagem urbana obsoleta, entre outros fatores, os casos de inundação só aumentam, retratando uma realidade não só do Brasil, mas universal, que por sua vez contribuem na ocorrência de soterramento de edificações, comprometimento dos sistemas de drenagem, além de eventos mais graves como perdas humanas.

Segundo Tucci (1995), as enchentes e inundações urbanas caracterizam um dos importantes impactos sobre a sociedade, visto que esses acontecimentos têm

causados grandes perdas mat6rias e at6 perdas de vidas, seja por afogamento ou contato com 6guas contaminadas.

Segundo Benini (2009, p. 68) *apud* (TUCCI, 2002, p. 445), os acontecimentos de enchentes em locais urbanizados derivam de dois processos, que podem acontecer de forma integrada ou isoladamente.

Devido 6 urbaniza77o: 6 o aumento da frequ4ncia e magnitude das enchentes devido 6 ocupa77o do solo com superf6cies imperme6veis e rede de condutos de escoamentos. Adicionalmente o desenvolvimento urbano pode produzir obstru77es ao escoamento como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstru77es ao escoamento junto a condutos e assoreamento;

Em 6reas ribeirinhas - as enchentes naturais que atingem a popula77o que ocupa o leito maior dos rios. Essas enchentes ocorrem, principalmente pelo processo natural no qual o rio ocupa o seu leito maior, de acordo com os eventos extremos, em m6dia com tempo de retorno da ordem de 2 anos. (TUCCI, 2002, p. 475).

Os impactos no espa77o urbano s6o resultantes de inunda77es que dependem do grau de ocupa77es nas v6rzeas pelos habitantes (inunda77es ribeirinhas) e da impermeabiliza77o e canais do sistema de drenagem (drenagem urbana). Ambas t6m caminhado junto e t6m sido registradas junto com a hist6ria do desenvolvimento urbano. O crescimento dos epis6dios de inunda77es tem sido mais frequente neste s6culo e a causa esta relacionada diretamente 6 urbaniza77o, devido o aumento expressivo de habitantes nas cidades e a inclina77o dos engenheiros atuais de projetarem um sistema com uma vis6o pontual do problema, ou seja, drenarem o escoamento pluvial o mais r6pido poss6vel das 6reas urbanizadas e transferindo o problema para outra 6rea (TUCCI, 2003).

3.1.1. Inunda77es devido 6 urbaniza77o

O mau funcionamento do sistema de drenagem 6 caracterizado pela impermeabiliza77o do solo que se d6 por meio da ocupa77o urbana atrav6s da constru77o de cal77adas, edifica77es, pavimenta77o, o que acaba influenciando na velocidade de infiltra77o, por a mesma depender das modifica77es da superf6cie do solo, destaca-se a substitui77o da cobertura natural e o desmatamento, que por sua vez, acabam por intensificar o escoamento superficial impactando diretamente o ciclo hidrol6gico.

De fato, com a ampliação do desenvolvimento urbano, as modificações hidrológicas equivalentes observadas são: aumento significativo nos volumes escoados e modificações nos hidrógrafas de cheias, essencialmente devido ao aumento de áreas impermeáveis (BARBOSA, 2006).

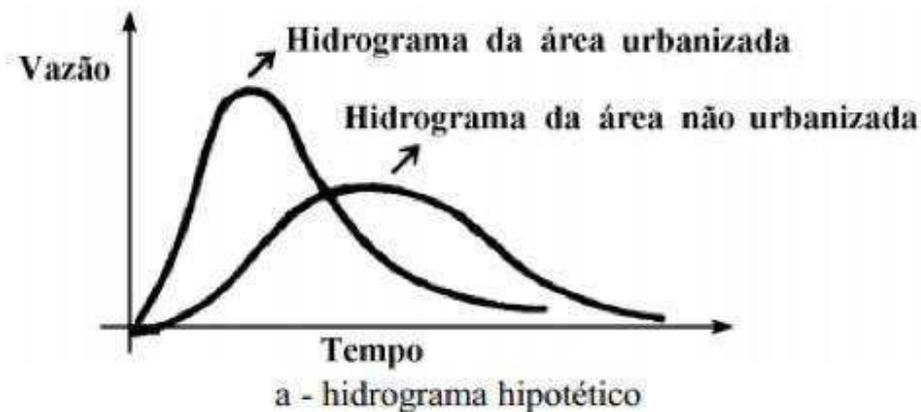
Figura 1 Características do balanço hídrico numa bacia urbana.



Fonte: BARBOSA 2006, *apud*, TUCCI E BETONI, 2003.

Em se tratando de áreas não habitadas de regiões nativas o escoamento ocorre de maneira mais lenta com maior parcela de infiltração de água e consequente diminuição da vazão. Para regiões urbanizadas ocorre redução da parcela de infiltração devido à impermeabilização, forçando a água a se movimentar por canais, aumentando a vazão e sua velocidade de escoamento, cujo na Figura 2 é possível visualizar este processo (SANTORO, AMARAL e TOMINAGA, 2009).

Figura 2 Hidrograma de área urbanizada e não urbanizada



Fonte: TUCCI, 2008.

A urbanização tem como efeitos principais o aumento da vazão máxima, a antecipação do pico e o aumento do volume do escoamento superficial.

3.1.2. Inundações em áreas ribeirinhas

Quando se trata de inundações em áreas ribeirinhas, refere-se a um processo natural, decorrente do ciclo hidrológico, no qual o rio alcança seu leito maior. Os rios geralmente apresentam dois leitos: o leito menor onde a água escoar boa parte do tempo e o leito maior que é inundado em média a cada dois anos. Este tipo de fenômeno ocorre, normalmente, em bacias de grande porte (maior do que 500 km²).

Conforme Tucci (2005, p.31) descreve que a inundação ocorre pelo aumento do nível dos rios e da sua vazão, e assim conseqüentemente ocorrência do alagamento das áreas próximas. Desta maneira, faz uso das “cotas do leito maior” para identificar a “magnitude da inundação e seu risco”.

Figura 3 Áreas com risco de inundação.



Fonte: TUCCI, 2005.

As consequências do evento de inundação são problemas que dependem do grau de ocupação da várzea pelos habitantes e da regularidade que sucedem as inundações (TUCCI, 2003). A ocupação de áreas de riscos de inundação traz consigo impactos sociais significativos, os quais atingem com maior potencia espaços com ocupação de classes menos favorecidas. Os principais impactos sobre a população são:

- Danos de perdas materiais e humanas;
- Impedimento da atividade econômica nos locais atingidos, gerando perdas para a região;
- Contaminação por meio da veiculação hídrica, tais como leptospirose, cólera, entre outros.

Vale Salientar que a ausência de planejamento e gestão por parte da administração técnica municipal é um dos fatores que não pode ficar de fora no que diz respeito às causas desse fenômeno. Segundo Barbosa (2006), no Brasil, embora os municípios mesmo pressionados, não tomam a iniciativa de estabelecer um Plano Diretor Urbano, ou um plano de controle de enchentes, logo não seguem as medidas de prevenção contra a ocupação dos espaços de risco de enchente.

3.2. SISTEMA DE DRENAGEM URBANA

A drenagem remete ao sistema utilizado para o fluxo das águas resultantes de precipitações, o qual faz parte de uma série de melhorias públicas presentes em um espaço urbano, quais sejam: redes de abastecimento de água, de coleta de esgotos sanitários, de cabos de transmissão de energia, de serviços de comunicações, além da iluminação pública, a malha viária, dentre outros (FCTH, 1999). Diferentemente dos demais o sistema de drenagem apresenta duas características peculiares importantes:

O escoamento das águas pluviais vai ocorrer independente da presença de um sistema adequado ou não. O que deve ser considerado é a qualidade desse sistema e se ele é capaz de trazer vantagens ou danos aos cidadãos (FCTH, 1999). O requerimento do sistema de drenagem só se dá durante e após o acontecimento do evento chuvoso, tendo a solicitação avaliada de acordo com a intensidade de duração da chuva.

Logo, os governos necessitam descobrir e planejar modos inovadores de subsidiar a infraestrutura de maneira que proporcione o mínimo de impacto ambiental e prever possíveis fragilidades e mudanças climáticas, com o propósito de atingir um crescimento sustentável (ASSMANN e LASTA, 2015).

O gerenciamento das águas pluviais pode ser atingido por medidas estruturais (emprego de estruturas físicas de controle) ou não estruturais (normas, incentivos fiscais), como já mencionado, sendo classificadas conforme suas ações na bacia hidrográfica, são elas: distribuída ou na fonte, microdrenagem e macrodrenagem, que serão descritas na sequência.

3.2.1 Na Fonte

Para receber o volume de água precipitada e conseqüentemente escoada devido às edificações, estacionamentos, parques e passeios, pode ser usado o sistema de drenagem na fonte, que consiste na filtração e retenção do escoamento no local (TUCCI, 2003).

As técnicas de controle na fonte, também conhecidas por medidas compensatórias (Tabela 1), são baseadas na detenção e na infiltração das águas contribuindo para gerar a sustentabilidade do sistema de drenagem, juntamente com a combinação de usos múltiplos, como: lazer, manutenção da diversidade biológica

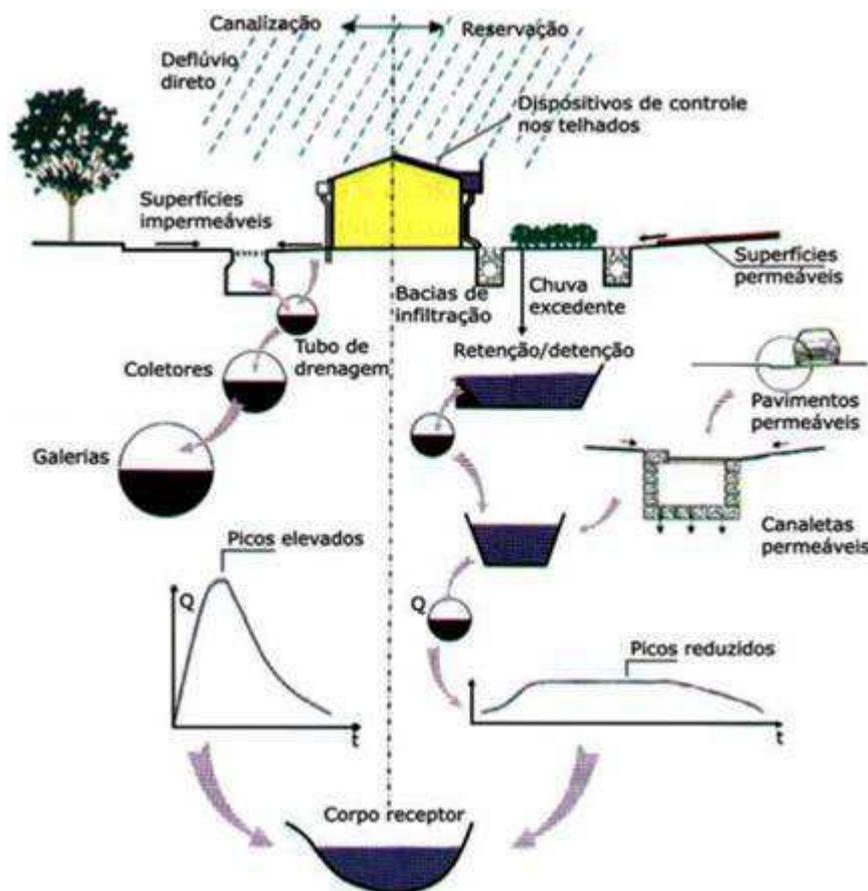
e assim, realizar o rearranjo temporal e espacial das vazões, contribuindo para a diminuição do volume escoado, conseqüentemente minimizando as chances de ocorrência de inundações a jusante do sistema de drenagem e na melhoria da qualidade da água (TOMINAGA, 2013).

Segundo Tucci (2005) as medidas de controle distribuídas são utilizadas a partir do objetivo que se deseja alcançar em determinadas partes da bacia hidrográfica, como:

- **Infiltração e percolação:** este tipo de solução direciona o fluxo para áreas de infiltração e percolação no solo, onde através do armazenamento e do fluxo subterrâneo retardam o escoamento superficial. Tal procedimento tem o objetivo de recuperar as funções hidrológicas naturais da área. Contudo vale salientar que este método não deve ser utilizado em áreas que apresentam altas taxas de contaminação de água ou o lençol freático é muito alto;
- **Armazenamento:** consiste em reservatórios que podem ser locados tanto em espaços fechados ou abertos. Essa solução é utilizada quando deseja se reter parte do volume do escoamento superficial, minimizando o seu pico e distribuindo a vazão no tempo;
- **Aumento da eficiência do escoamento:** Através de condutos e canais, drenando áreas inundadas. Esse tipo de solução parte do princípio da drenagem convencional, pois realiza transferência do escoamento de uma dada área para outra, mas pode ser útil quando utilizado em conjunto com reservatórios de detenção;
- **Diques e estações de bombeamento:** solução tradicional de controle pontual de enchentes em áreas urbanas usado em áreas que não possuam espaço para amortecimento da inundação.

Desta forma, dispositivos para controle de enchentes na fonte se apresentam como medidas sustentáveis e alternativas ao modelo tradicional de canalização dos córregos e rios urbanos, ou seja, um sistema alternativo para a drenagem urbana que beneficia o planejamento em áreas urbanizadas, permitindo adaptação e/ou melhoramento do sistema existente. Segundo Tucci (2005, p. 110), permite a “integração entre o projeto de implantação no espaço, o projeto arquitetônico e as funções da infraestrutura de água dentro do ambiente urbanizado” (Figura 5).

Figura 4 Ilustração esquemática dos conceitos de canalização e reservação.



Fonte: BENINI 2014, CANHOLI, 2005 p. 36.

Vale lembrar, que adoção de tais medidas exige o comprometimento do usuário na realização da manutenção frequente das instalações do sistema. A outra consideração remete ao fato de que as galerias deverão ser projetadas com capacidade para atuação em situações emergenciais evitando assim, agravamento dos problemas (ASSMANN e LASTA, 2015).

Tabela 1 Principais medidas de controle utilizadas na fonte.

OBRA	CARACTERÍSTICA PRINCIPAL	FUNÇÃO	EFEITO
Pavimento Poroso	Pavimento com camada de base porosa como reservatório	Armazenamento temporário da chuva no local do próprio pavimento. Áreas externas ao pavimento podem também contribuir.	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado pelo pavimento e por eventuais áreas externas
Trincheira de infiltração	Reservatório linear escavado no solo preenchido com material poroso	Infiltração no solo ou retenção, de forma concentrada e linear, da água da chuva caída em superfície limítrofe	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área adjacente
Vala de infiltração	Depressões lineares em terreno permeável	Infiltração no solo, ou retenção, no leito da vala, da chuva caída em áreas marginais	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área vizinha
Poço de Infiltração	Reservatório vertical e pontual escavado no solo	Infiltração pontual, na camada não saturada e/ou saturada do solo, da chuva caída em área limítrofe	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado na área contribuinte ao poço
Micro reservatório	Reservatório de pequenas dimensões tipo 'caixa d'água' residencial	Armazenamento temporário do esgotamento pluvial de áreas impermeabilizadas próximas	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial de áreas impermeabilizadas
Telhado reservatório	Telhado com função reservatório	Armazenamento temporário da chuva no telhado da edificação	Retardo do escoamento pluvial da própria edificação
Bacia de detenção	Reservatório vazio (seco)	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
Bacia de retenção	Reservatório com água permanente	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
Bacia subterrânea	Reservatório coberto, abaixo do nível do solo	Armazenamento temporário do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
Condutos de armazenamento	Condutos e dispositivos com função de armazenamento	Armazenamento temporário do escoamento no próprio sistema pluvial	Amortecimento do escoamento afluente à macrodrenagem
Faixas gramadas	Faixas de terreno marginais a corpos d'água	Áreas de escape para enchentes	Amortecimento de cheias e infiltração de contribuições laterais

Fonte: Adaptado BENINI 2014, *apud* SILVEIRA, 2002, p. 30.

3.2.2. Microdrenagem

A microdrenagem, ou sistema primário urbano promove o primeiro contato com as chuvas, sendo composta por um sistema de condutos pluviais ou canais e tem como função promover o direcionamento das precipitações (TUCCI, 2003).

A microdrenagem convencional é caracterizada como uma medida estrutural de controle para precipitações de risco moderado, a drenagem da área é realizada

através de condutos pluviais até um coletor principal ou riacho urbano (TUCCI, 2005). Os principais elementos que constituem o sistema microdrenagem são apresentados na tabela. 2.

A realização de dimensionamento adequado aliado a uma manutenção da rede de microdrenagem proporcionam melhorias nas obstruções das atividades urbanas quando ocorrem alagamentos e enxurradas (FCTH, 1999). A limpeza dos sistemas inicial de drenagem deve ser executada com prioridade regular, devendo ser intensificada no período chuvas. Atualmente o gerenciamento dos serviços de limpeza pode contar com ferramentas tecnológicas como sistema de gerenciamento e controle operacional em tempo real (SMDU, 2012).

Tabela 2 Principais elementos da rede de microdrenagem.

ELEMENTO	FUNÇÃO
Galeria	Canalização pública destinada a conduzir as águas pluviais provenientes das bocas de lobo e ligações privadas.
Poços de visita	Dispositivos localizados em pontos convenientes do sistema de galerias permitindo mudanças de direção, declividade, diâmetro e inspeção e limpeza das canalizações.
Trecho	Porções de galerias situadas entre dois poços de visita.
Bocas de lobo	Dispositivos localizados em pontos convenientes das sarjetas para captação de águas pluviais.
Tubo de ligação	Canalizações que conduzem águas pluviais captadas nas bocas de lobo para as galerias ou poços de visita.
Meio fio	Elemento de pedra ou concreto instalados entre passeio e via pública paralelamente ao eixo da rua e com sua face superior no mesmo nível do passeio.
Sarjetas	Faixas de via pública paralelas ao meio fio, receptora das águas pluviais que incidem sobre a via pública e escoam para sua calha.
Sarjetões	Calhas localizadas nos cruzamentos de vias públicas destinadas a orientar o fluxo das águas que escoam pelas sarjetas.
Condutos forçados	Destinados a condução de águas pluviais coletadas de maneira segura e eficiente, sem preencher completamente a seção transversal dos condutos.
Estações de bombeamento	Destinados a retirar água de um canal de drenagem, quando não mais houver condição de escoamento por gravidade.

Fonte: TOMINAGA 2013, *apud*, BIDONE e TUCCI, 1995 e FCTH, 1999.

A microdrenagem é o ponto alto do referido trabalho, já que o mesmo pretende analisar a eficiência e o atendimento a demanda na região, fazendo uso de uma das ruas para a averiguação dos objetivos propostos, logo alguns aspectos

considerados principais, são necessários para melhor entendimento, que são apresentados a seguir.

3.2.3. Perfis longitudinal e transversal de ruas

Conforme Assman e Lasta (2015) *apud* (PORTO, et al., 2009) em espaços urbanos “a microdrenagem é essencialmente definida pelo traçado das ruas”.

O perfil longitudinal (greide), assim como o perfil transversal de uma rua, são importantes elementos na composição da rede de microdrenagem, visto que, estes componentes são essenciais para o encaminhamento das águas pluviais.

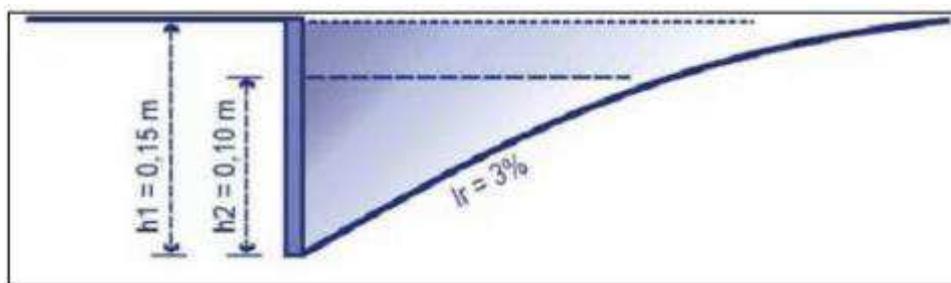
Conforme Assman e Lasta (2015) *apud* (INIR, 2010) para consecução de um traçado apropriado em planta e perfil longitudinal, necessitam serem considerados alguns princípios, nos quais, se sobressai no enquadramento de drenagem urbana a adaptação do traçado da rua com a topografia do meio em que se encontra. O declive transversal, nos alinhamentos retos, deve ser planejado para assegurar à drenagem do escoamento superficial da rua, garantindo que o caminho do escoamento aconteça apenas nas sarjetas ou no menor comprimento de drenagem da via, em outras palavras as águas atingem inicialmente o terreno, dependendo da sua topografia e tipo de solo gera um volume de escoamento superficial o qual é conduzido até as sarjetas por gravidade devido à inclinação do perfil.

Existem dois casos que devem ser considerado para garantir a capacidade de condução da rua ou da sarjeta:

- Escoamento por toda a faixa da via;
- Escoando apenas pelas sarjetas.

Ao observar a figura 6, nota-se que para ambos os casos, a inclinação do trecho transversal da via é de 3%, contudo o nível da lâmina de água na sarjeta no primeiro caso é $h_1 = 0,15\text{m}$, o escoamento atinge a via, e no segundo caso o $h_2 = 0,10\text{m}$, escoamento ocorre apenas na sarjeta, o que caracteriza como medida preventiva em caso de ocorrências de eventos de maior intensidade, na intenção de evitar que toda a rua fique inundada.

Figura 5 Seção da sarjeta.



Fonte: ASSMAN e LASTA 2015, p. 15 *apud* INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ 2002.

3.2.4. Sarjetas e bocas de lobo

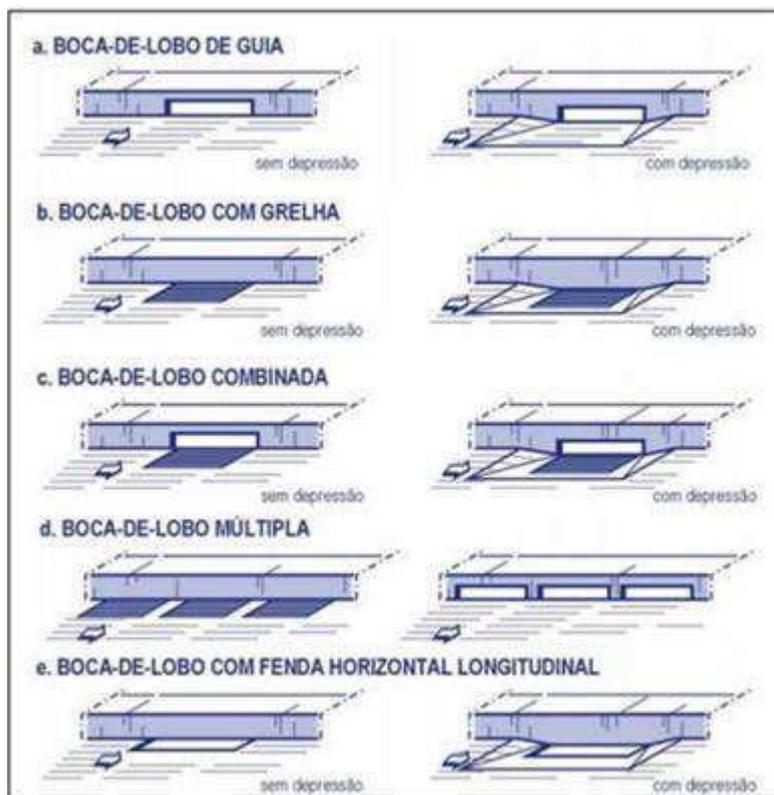
As sarjetas são compreendidas como pequenos canais paralelos e próximos ao meio-fio, ou seja, são escoadouros das vias públicas que recebem as águas pluviais e conduzem até as bocas de lobo (SILVEIRA, 2002).

As bocas de lobo são estruturas hidráulicas responsáveis pela coleta das águas das sarjetas (NETO, 2008).

As bocas de lobo ou coletoras possuem o objetivo de receber as águas precipitadas que chegam as ruas e estão locadas em pontos estratégicos nas sarjetas. Em casos de ocorrência de eventos de máxima pode ocorrer à saturação do “engolimento” da sarjeta, neste caso, as bocas de lobo deverão ser distribuídas em ambos os lados da rua principalmente nos locais mais baixos da rua, para evitar a desenvolvimento de alagamentos. O distanciamento máximo indicado entre elas é de 60 metros, em caso não seja averiguada a eficácia quanto ao escoamento da sarjeta. As bocas de lobo deverão ser inseridas próximo ao cruzamento das ruas, mas não no limite desse cruzamento (ASSMAN e LASTA 2015 *apud* PORTO, et al., 2009).

Existem inúmeros tipos de boca de lobo as quais são apresentadas a seguir:

Figura 6 Tipos de bocas de lobo



Fonte: ASSMAN e LASTA 2015, p. 16 *apud* INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ, 2002.

3.2.5. Galerias e poços de visita

Denomina-se galeria de águas pluviais todos os condutos fechado que possuem a função de transportar o volume de água escoado captado pelas bocas coletoras, para a realização do projeto das galerias é necessário atender todas as áreas, favorecendo condições adequadas a drenagem. As galerias são projetadas para trabalharem em seção plena, possuem diâmetro mínimo indicado de 30 centímetros, e a velocidade que a água chega às canalizações estar sujeita ao material que as compõem (ASSMAN E LASTA, 2015) *apud* PORTO, et al., 2009).

O Plano diretor estabelece o uso de galerias no intuito de acabar com o excesso de escoamento superficial coletado pelas bocas de bolo, porém tal medida acaba transferindo o problema para outra área (INSTITUTO DE PESQUISA HIDRAÚLICAS, 2005).

Os poços de visita possuem a função primordial de permitir o acesso às canalizações para limpeza e fiscalização, de modo que possam promover um bom estado de funcionamento. Para a sua locação é recomendado os cruzamentos, nos pontos de mudança de direção do fluxo (aonde chegam várias vazões de outras

ruas) e em mudança de declividade e diâmetro. Os poços de visita são espaçados em função do diâmetro ou altura do conduto (ASSMAN E LASTA 2015, p. 14 *apud* PORTO, et al., 2009).

3.2.6. Macrodrenagem

O sistema de macrodrenagem tem por objetivo a direcionamento final dos escoamentos como também, interagir com os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem, logo são estruturas dimensionadas para receber grandes vazões com maiores velocidades de escoamentos superficial.

A macrodrenagem também é caracterizada por abranger grandes áreas atingindo uma margem de 2 km² ou 400 ha, vale salientar que tais valores não são absolutos devido a variação na configuração na malha urbana (TUCCI, 2003), sendo projetada para promover o escoamento rápido afim de minimizar as consequências e prejuízos oriundos de cheias com período de retorno relativamente grande (T=25 a 100 anos).

Esta rede envolve as intervenções de fundo de vale e é composta pelos canais abertos e fechados com tamanhos maiores do que os condutos da microdrenagem, além da rede natural de drenagem das bacias, constituídas pelos córregos, riachos e rios urbanos, como também os reservatórios de amortecimento implantados para a contenção de cheias (TOMINAGA, 2013).

Igualmente ao sistema de drenagem inicial a manutenção é de extrema importância para manter o funcionamento adequado dos sistemas de macrodrenagem, minimizando os problemas de inundação e os problemas ligados diretamente à poluição hídrica (FCTH, 1999).

3.3. MEDIDAS DE CONTROLE DE ENCHENTES URBANAS

Após a apresentação de alguns dos principais problemas originários da urbanização, torna-se evidente que o fenômeno das enchentes pode trazer sérios agravamentos à população atingida. Nesse sentido deve haver uma preocupação maior na disseminação do conhecimento das medidas de controle desse fenômeno, as quais serão apresentadas no decorrer desde capítulo.

O quadro de medidas para o controle das inundações é composto por dois tipos de intervenção no ambiente: em estruturais, quando o homem altera o rio, e em não estruturais, quando o homem coexiste com o rio.

Neste sentido, Benini (2009, p. 71) *apud* (BOTELHO, 2011, p. 94) explica que as medidas de controle de enchente.

[...] são usualmente classificadas em estruturais, quando o homem altera o sistema fluvial, através de obras hidráulicas, como barragens, diques, canalização e retificação; em não estruturais, quando o homem busca uma convivência harmônica com o rio, através da elaboração de planos de uso e ocupação e zoneamentos de áreas de risco à inundação, sistemas de alerta e seguros-enchentes. (BOTELHO, 2011, 94).

Tucci (2005, p. 48) explica que as “medidas para o controle de inundação podem ser do tipo estrutural e não estrutural”:

“As medidas estruturais são obras de engenharia implementadas para reduzir o risco de enchentes. Essas medidas podem ser extensivas ou intensivas. As medidas extensivas são aquelas que agem na bacia, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão, como a alteração da cobertura vegetal do solo, que reduz e retarda os picos de enchente e controla a erosão da bacia. As medidas intensivas são aquelas que agem no rio e podem ser de três tipos [...] (a) aceleram o escoamento: construção de diques e *polders*, aumento da capacidade de descarga dos rios (canais) e corte de meandros; b) retardam o escoamento: reservatórios e bacias de amortecimento; c) facilitam o desvio do escoamento: são obras como canais de desvios (TUCCI, 2005, p.48 – 50).”

“As medidas não estruturais são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes, através de medidas preventivas como o alerta de inundação, zoneamento das áreas de risco, seguro contra inundações, e medidas de proteção individual (*‘floodproofing’*). (TUCCI, 2005, p. 48 – 50).”

De acordo com Benini (2009, p. 74) *apud* (TUCCI, 2002, p. 482) as ações estruturais referem se, as “medidas de controle através de obras hidráulicas, tais como barragens, diques e canalização, entre outras”, e as ações não estruturais, são “medidas do tipo preventivo, tais como zoneamento de áreas de inundação, alerta e seguros” e por esta razão, “as medidas estruturais envolvem custos maiores que as medidas não estruturais” (Figura 4).

Figura 7 Principais medidas estruturais e não estruturais de controle de enchente.



Fonte: BENINI 2014, *apud* BOTELHO, 2011, p. 94.

A figura 4 permite um entendimento sobre a divisão entre as medidas estruturais e não estruturais. Contudo o que deve ser observado é que no padrão clássico de obras de drenagem urbana apresentadas nos planos de engenharia hidráulica são adotadas medidas que podem ser estruturais intensivas (quando o homem modifica o rio) e nas medidas estruturais extensivas (infraestrutura verde) e não estruturais (quando o homem convive com o rio).

É importante enfatizar que a utilização das medidas de controle não proporciona o controle total das inundações, porém para obter um controle eficiente do fenômeno, faz uso da associação das medidas estruturais e não estruturais com o objetivo de tornar mínimos os prejuízos causados aos habitantes e possibilitar uma coexistência harmônica com o rio, principalmente para a população ribeirinha.

O processo de planejamento e gestão urbana possui metas fundamentais a serem atingidas, as quais são constituídas pela execução das medidas elencadas acima. Para ocorrência disso o autor (TUCCI, 2005, p.114) esclarece que um dos maiores impedimentos dos gestores públicos no que diz respeito à implantação de um planejamento integrado “decorre da limitada capacidade institucional dos municípios para enfrentar problemas tão complexos e interdisciplinares e a forma setorial como a gestão municipal é organizada”.

O Plano Diretor de Drenagem Urbana tem o objetivo de estabelecer medidas de gestão voltadas para a infra-estrutura urbana e o escoamento das águas pluviais

dos rios e na área urbana, na intenção de evitar perdas econômicas e possibilitar um melhoramento das condições de saúde e no meio ambiente, partindo de princípios econômicos, sociais e ambientais definidos pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental da cidade buscando otimizar a gestão e a disposição da água pluvial no tempo e no espaço, considerando os diferentes tipos de uso e ocupação do solo de forma a coexistir em harmonia com as práticas estruturais e o meio ambiente aliados a utilização de um regulamento controlar a ocupação de áreas de risco de inundação (TUCCI, 2013).

Desta forma fica clara a importância de se desenvolver um Plano Diretor de Drenagem Urbana, o qual deveria contemplar os planos urbanísticos, do sistema viário, saneamento e resíduos sólidos, com legislações pertinentes ao uso e ocupação do solo, licenciamento ambiental e recursos hídricos, uma vez que, pretende-se identificar as áreas destinadas à preservação e as apropriadas para posse do poder público, de forma a promover um zoneamento adequado (SILVEIRA, 2002).

Segundo Tucci (2005), as medidas utilizadas para controle de enchentes são: o Plano Diretor Urbano, a Legislação Municipal e o Manual de Drenagem, trabalhando de forma integrada, uma vez que, o primeiro determina as principais linhas, a legislação controla e o manual orienta.

4. MATERIAS E MÉTODOS

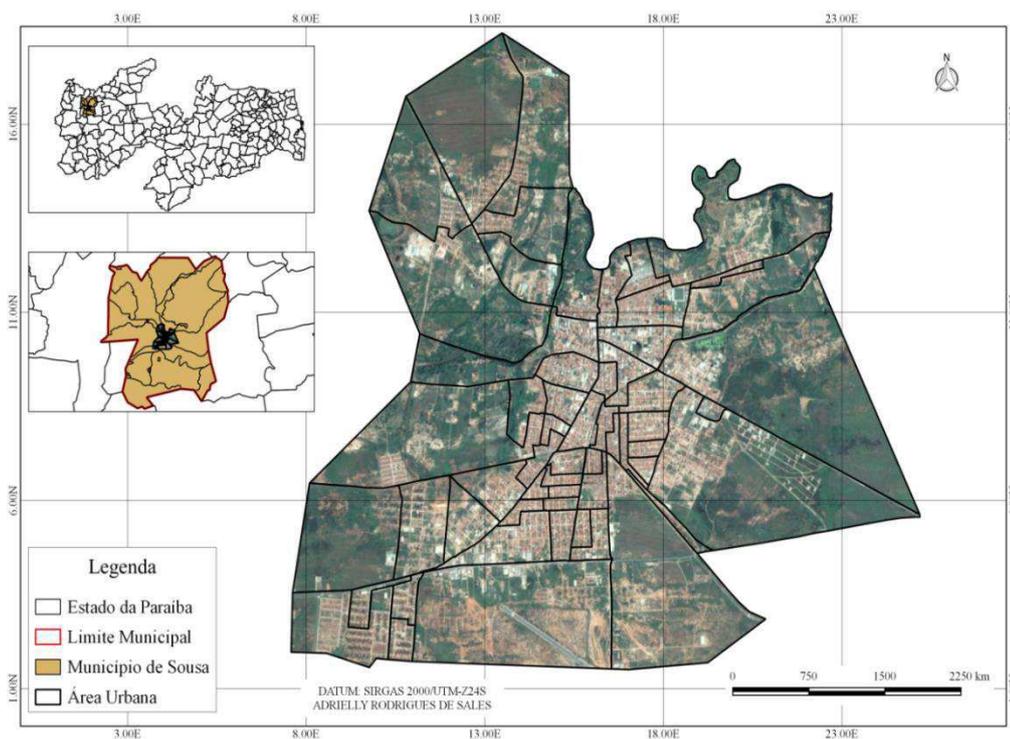
Inicialmente foram feitas pesquisas bibliográficas, assim como levantamentos de campo na área estudada para registros fotográficos, além de consultas a órgãos públicos, para tomar conhecimento de leis, documentos, mapas e quaisquer outras medidas que visem mitigar os problemas enfrentados pela população e também melhorar a qualidade do sistema de drenagem existente no município.

A partir da coleta de dados em campo, a pesquisa realizada se caracteriza como um estudo de caso cuja abordagem adotada é qualitativa, uma vez que, buscou conferir a interação de certas variáveis, compreendendo e classificando processos dinâmicos.

4.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Sousa é um município brasileiro localizado no Estado da Paraíba inserido na mesorregião do Sertão Paraibano e pertencente à microrregião de Sousa, onde limita - se com os municípios: São João do Rio do Peixe, Marizópolis, Nazarezinho, São Jose da Lagoa Tapada, Lastro, Vieirópolis, Santa Cruz, São Francisco e Aparecida. Possui uma abrangência de 738,547 km², dos quais 3,0220 km² encontram se no perímetro urbano a uma distância de 430 km da capital Paraibana (IBGE, 2016), conforme mostra a figura 8.

Figura 8 Mapa de caracterização do município de Sousa – PB.



Fonte: Autoria própria, 2017.

O município de Sousa está localizado no semiárido nordestino que apresenta clima quente e seco e tem como característica escassez pluviométrica e variação térmica entre 26 °C a 28 °C, desta forma apresenta uma variação pluviométrica anual entre 750 mm e 800 mm, caracterizada pela ocorrência de chuvas irregulares concentradas em curtos períodos de tempo (entre janeiro e abril), fator que contribui para o escoamento superficial e ocorrência de alagamentos quando não se tem um sistema de drenagem adequado.

O município apresenta registros de inundações tanto em áreas ribeirinhas, como o Bairro Guanabara devido sua localização as margens do Rio do Peixe, como em outros pontos da malha urbana devido ao crescimento da cidade consequentemente a impermeabilização do solo que contribui para o aumento do escoamento superficial, tornando frequentes os alagamentos urbanos.

Através de um prévio levantamento nos sites de pesquisa da internet, puderam-se encontrar alguns artigos que refletem esta problemática no ponto estudado, como mostra a figura 9, logo, diante disso se torna necessário a realização de estudos e análises na área para identificar o problema e se possível propor soluções.

Figura 9 Sequência de alagamento no mês de março de 2017.



Fonte: Diário do Sertão, 2017.

Foi selecionado para a realização do estudo um trecho na Rua Sandy Fernandes de Aragão, delimitadas pelas ruas Manoel Gadelha Filho e Bento Freire, onde foi feita a avaliação do desempenho dos elementos da microdrenagem, com isso pretendeu-se estudar o efeito dessas estruturas no amortecimento dos picos de cheias por meio do direcionamento do escoamento superficial, bem como a geração de volume escoado.

Para a escolha do trecho optou por um local que representasse bem os diferentes tipos de ocupação, sendo uma área central, que apresenta circulação de pedestre razoável e grande fluxo de veículo, a qual apresenta ocorrência de alagamentos, tornando o trabalho mais prático e com resultados mais precisos de modo a gerar relevância para toda a área urbana que apresenta os mesmo ou mais agravantes problemas.

Em linhas gerais, para a realização da análise no trecho selecionado, inicialmente teve-se contato com a prefeitura municipal através da Secretaria de infraestrutura e obras, com intuito de obter materiais auxiliares como dados topográficos e cadastrais da rede de drenagem da área urbana.

Durante as visitas ao *lócus* de estudo, foram realizadas duas vistorias: a primeira durante o período de estiagem e/ou seco sendo que a segunda em período chuvoso. No período seco foram identificados e fotografados os principais elementos de drenagem que influenciariam direta ou indiretamente a área estudada, procurou observar os momentos mais intensos de precipitação, observando o volume de escoamento gerado e conseqüentemente o alagamento da área e sua extensão.

Durante o levantamento de dados sobre as condições do local onde o sistema encontra-se instalado e operando, a análise da planta do sistema de drenagem feita para a rua em questão não foi possível devido à não disponibilidade de documentos por parte da prefeitura, dessa maneira usou-se como auxílio a ferramenta Google Earth para fazer um levantamento topográfico do trecho com a localização e identificação dos elementos de drenagem presentes.

Vale lembrar que a ferramenta não apresenta um detalhamento rico dos níveis topográficos que devem ser utilizados para a realização de projetos de drenagem, contudo obteve-se resultados admissíveis para uma análise de desempenho.

A seguir estão elencadas as etapas da coleta de dados e a metodologia de dados utilizada:

- **Considerações sobre a topografia:** por meio do perfil topográfico gerado na ferramenta Google Earth pode-se identificar a direção do fluxo do volume escoado, o ponto crítico do trecho assim como suas áreas contribuintes e as áreas mais baixas, servindo de base para a realização da análise.
- **Ponto crítico do trecho:** foram identificados, além do ponto crítico no trecho selecionado outros pontos a montante, que sofrem com a ocorrência de alagamentos, para que se pudessem avaliar alternativas que possam contribuir com um melhoramento no sistema de drenagem local.
- **Dados Pluviométricos:** utilizou-se dados em forma de gráfico fornecidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESPA) para analisar o amortecimento dos elementos de drenagem em relação a determinadas intensidades pluviométricas ocorridas na cidade.
- **Possíveis soluções:** Depois de relacionados os pontos críticos e avaliados os dados pluviométricos recolhidos, foram identificadas as principais causas de enchentes no trecho para que, baseado nesse estudo, pudessem ser sugeridas intervenções eficientes na diminuição da sobrecarga do sistema atual de drenagem.

5. RESULTADOS E DISCURSÃO

5.1. ESTUDO DE CASO

Ao longo do tempo, o processo de transformação das cidades tornou-se vigente. O município de Sousa não têm sido diferente. Diante o crescimento acelerado na área a montante ao ponto de alagamento, grande parte das áreas permeáveis foi se transformando em impermeáveis, tendo como consequência a diminuição da capacidade de infiltração e o aumento do escoamento superficial pelas ruas e avenidas. Além disso, a infraestrutura não acompanhou esse processo de urbanização dessas áreas tornando-se ineficiente diante da sobrecarga das tubulações existente com vista na realidade atual. Por causa disso, em períodos chuvosos ocorrem alagamento que se concentram na Avenida Sandy Fernandes de Aragão.

Figura 10 Processo de urbanização no local de estudo.



Fonte: Google Earth, 2017.

A figura 10 mostra imagens da área de estudo, datadas dos anos de 2004 e 2016. Nelas pode se observar que houve avanços razoáveis no processo de ocupação, notam-se algumas mudanças no cenário com a construção de alguns empreendimentos, como prédios e residências.

Durante a realização do trabalho procurou saber o posicionamento do órgão público municipal correspondente à problemática em questão, constatou que apesar da cidade abrigar uma faixa de 65 mil habitantes não dispõe de um Plano Direto (o qual tem como uma das funções estabelecer uma porcentagem da área construída que deve continuar permeável) ou um Plano de Saneamento, mesmo sendo uma

medida obrigatória para cidades desse porte, sendo disponibilizado apenas um Código de Urbanismo e Obra, o qual não foi aprovado pelo poder legislativo durante a votação na câmara municipal. Porém no site da prefeitura estão disponíveis alguns documentos referentes a medidas tomadas em mandatos passados que não vigoram mais, como a criação do Conselho Municipal Defesa do Meio Ambiente (CONAMA), o qual tinha como competência controlar e fiscalizar as ações governamentais e não governamentais em questões relacionadas ao equilíbrio ecológico e ao combate as agressões ambientais em toda a área do município.

Essa realidade retrata um intenso processo sem o devido planejamento urbano, aliado a falta de infraestrutura de drenagem, conseqüentemente é inevitável que ocorram problemas de alagamentos nos períodos chuvosos.

5.2. ANÁLISE DA REDE DE DRENAGEM

No intuito de reconhecer a área em estudo foram realizadas visitas para verificar as causas do alagamento que ocorrem atualmente. Foi percorrida toda a Avenida Sandy Fernandes de Aragão, para identificar os elementos de drenagem e suas limitações. Na ocasião da visita, também foi possível coletar informações de alguns moradores e comerciantes da área sobre os transtornos acarretados em dias de chuva, que de acordo com os mesmos a água chega a invadir as calçadas, mas a maior preocupação é em relação a um terreno na área onde a água fica parada se tornando um foco de mosquito da dengue como mostra a figura 11.

Figura 11 Terreno baldio alagado em Sousa- PB.



Fonte: Diário do Sertão, 2017.

Alagamentos que ultrapassam o nível da calçada além de dificultar a passagem de pedestres e veículos na área, contribuem com a ocorrência de proliferação de doenças em terrenos baldios que são espaços das cidades que estão vazios e acabam se tornando depósito de lixo e entulho, a falta de limpeza pode gerar problemas devido ao acúmulo de resíduos sólidos, além do crescimento do mato fatores facilitadores de proliferação de doenças relacionadas ao problema dentre eles a criação de reservatórios de água, que se tornam criadouros do mosquito da dengue.

Devido à falta de dados referente ao cadastro dos equipamentos de drenagem do local, a análise ocorreu baseada em dados topográficos e dados coletados durante as visitas, logo ao verificar o local, observou que as ruas secundárias realizam a drenagem por meio de sarjetas e gravidade desaguando parte das águas pluviais na Rua Sandy Fernandes de Aragão que em sua extensão compreende quatro coletores de água sendo que um deles apresenta contribuição de água residuária direta à rede de drenagem pluvial, caracterizando um sistema unitário, porém tal medida acaba comprometendo o desempenho do sistema, pois em ocorrências de precipitações intensas pode ocorrer o retorno do esgoto nas casas. Constatou-se ainda que mesmo a rua em análise esteja de posse de um sistema de drenagem falho, também possui o agravante da falta de limpeza das bocas de lobo, afetando diretamente em sua capacidade de captação ou na condução dos volumes precipitados.

Notou-se acúmulos de lixo e sedimentos nos equipamentos de drenagem, dificultando a passagem das águas precipitadas para os condutos, uma vez que, se trata de uma área central, na qual apresenta uma movimentação de pedestres e transportes relevante, onde existem cursos técnicos e comerciantes que contribuem para geração de resíduos (Figura 12).

Figura 12 Bocas de lobo.



Fonte: Arquivo pessoal, 2017.

5.2.1 Considerações sobre a topografia

Ao verificar os desníveis e a topografia do terreno, obteve se o divisor de água da rua assim como as suas elevações.

O gráfico apresenta uma variação de cotas em toda a extensão da rua, apresentando cotas entre 228 m e 223 m com inclinações à direita 1,3% e com máxima a esquerda com 2,6%, já no trecho selecionado apresenta uma conta de 224 m e mínima de 223 m e inclinações de 1,3% à direita e máxima de 1,4% a esquerda, dessa forma caracteriza se todo o perfil como suave.

Figura 13 Perfil de elevação de toda a extensão da rua.



Fonte: Google Earth, 2017.

O setor escolhido recolhe uma quantidade relevante de águas pluviais de áreas mais altas provindas de seus arredores, acarretando problemas no funcionamento adequado do sistema. Em situações de ocorrência de precipitação máxima o escoamento ganha velocidade em seu deslocamento que contribui no assoreamento de resíduos sólidos e ao chegar às cotas mais baixas promove além da interceptação da infiltração o represamento das águas por todo o trecho até que a água infiltre totalmente no solo ou nas bocas de lobo.

Figura 14 Posicionamento das bocas de lobo no perfil de elevação.



Fonte: Google Earth, 2017.

A foto representa o ponto crítico do trecho selecionado, sendo um local mais baixo onde ocorre o encontro do escoamento do lado direito e esquerdo, neste ponto a água fica represada chegando a cobrir as calçadas em eventos de máxima precipitação, o qual conta com 3 bocas coletoras que não dão conta de drenar todo o volume de água gerado no local, havendo a necessidade de dimensionamento dos trechos.

5.2.2. Ponto crítico

Ao proceder à análise seguindo alguns parâmetros básicos usados em dimensionamentos de projetos, levou em conta a topografia do terreno, que tornou possível o conhecimento sobre as mudanças de direção do fluxo do escoamento na rua e seus contribuintes, e conseqüentemente o conhecimento do ponto crítico do objeto de estudo e de outros pontos críticos de alagamentos nas áreas adjacentes, ou seja, foi preciso analisar o incremento do volume de escoamento provocado pela urbanização em outras extremidades da rua em questão, logo foi necessário considerar outros bairros vizinhos.15 - Área de contribuição ao ponto crítico estudado e pontos críticos a montante.

Figura 15 Área de contribuição ao ponto crítico estudado e pontos críticos a montante.

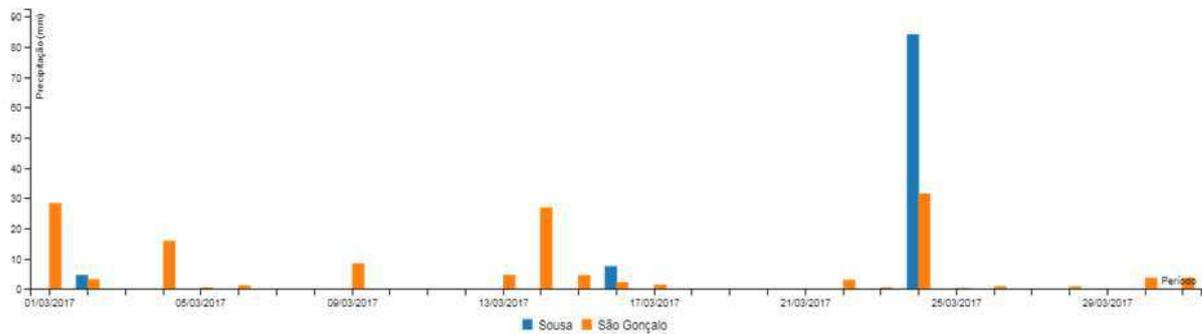


Fonte: Google Earth, 2017.

5.2.3. Resultados de um evento de precipitação na área de estudo

No mês julho de 2017, o município de Sousa ocorreu episódios de precipitações, a qual segundo a AESA apresentou um total precipitado nos dia 02 de 4.5 mm, no dia 16 de 7.4 mm e no dia 24 de 84 mm gerando uma precipitação de 95.9 mm em sua totalidade, tendo o dia 24 com a chuva mais intensa chegando a representar 87 % do total precipitado no mês todo.

Figura 16 Gráfico da precipitação do mês julho de 2017.



Fonte: AESA, 2017.

Resultando em alagamentos em vários pontos da cidade, a figura 15 mostra os efeitos deste evento no ponto crítico estudado. Essa situação provocou uma altura aproximada de alagamento de 6,2 cm acima do nível da calçada.

Figura 17 Altura de lâmina de água do alagamento provocado pela chuva do mês de julho de 2017.



Fonte: Arquivo pessoal, 2017.

6. POSSÍVEIS SOLUÇÕES

Os conhecimentos hidrológicos estão disponíveis de forma a favorecer vários tipos de métodos que possibilitem o aproveitamento das águas pluviais, favorecendo a várias técnicas compensatórias, sejam estas localizadas ou distribuídas, que ao invés de transferir o problema pra jusante, auxilia na reutilização, de forma a garantir a retenção ou detenção da vazão excedente gerada em determinados períodos de tempo de modo que este seja transferido após não haver maiores riscos de inundação.

As técnicas de infiltração e/ou percolação, ou ate mesmo a associação delas apresentam se como uma boa solução para esse problema, ao analisar ao algumas medidas alternativas procurou escolher a mais adequada para o controle da vazão na área em questão apresentadas na sequencia.

As técnicas sustentáveis que podem ser utilizadas na problemática em questão são: pavimentos permeáveis, plano de infiltração e reservatórios de detenção\retenção. Contudo, as técnicas apresentadas têm como desvantagem os seguintes fatores:

- Impedimentos na realização de manutenção e fiscalização;
- Estabelece dependência com a tipologia do solo e suas características de percolação e porosidade, devido à influência direta na capacidade de drenagem do sistema;
- Em caso da existência de lençol freático estabelece limitações devido à altura do mesmo, quando apresentam elevações altas o método não é recomendado;
- Os pavimentos permeáveis se enquadram a ruas com pouca movimentação, ou seja, pouco trafego, não sendo uma característica do local, porem podem ser instaladas nos passeios e estacionamento, apresentando um decréscimo na geração do escoamento do ponto critico do trecho devido ser em frente ao supermercado Pio, o qual gera grande contribuição na vazão;
- A utilização de planos de infiltração depende do conhecimento da rede viária do local que não foi possível ter acesso devido à falta de documento, o uso desta pratica necessário espaço suficiente para a construção de trincheiras para promover a infiltração aliada ao paisagismo urbano;

- Fator importante e pouco verificado é a conscientização da população a respeito das técnicas distribuídas no controle de vazão, de modo que tal medida é responsabilidade do Poder Público municipal.

De modo a promover o benefício de toda avenida, sugere-se trabalhar com controles localizados, os quais envolvem uso de áreas menores de armazenamento, tais como: reservatórios e rede de galerias. Os usos das técnicas de armazenamento se sobressaem quando comparada ao controle distribuindo, pois supri todas as desvantagens apresentadas, como o custo de implantação, apresentando menores valores de implantação, operação e manutenção. Contudo vale ressaltar que o controle localizado apresenta como desvantagem a escolha da área adequada para sua construção.

A implementação de um reservatório de retenção é a técnica mais indicada para controle de vazão no local do estudo, o qual possui uma área de 15.909 m², dessa forma evitará gastos desapropriação e devido à inclinação do solo todo o sistema funcionará por gravidade. Além disto, este reservatório poderá ser utilizado para fins paisagísticos e recreativos, porém deve-se considerar ao realizar o desague no canal do município em questão, o qual tem o propósito de drenar as águas pluviais, que não existe separação de rede de esgoto e águas pluviais.

Figura 18 Sugestão da localização do reservatório de retenção.



Fonte: Google Earth, 2016.

Para concluir apresenta-se um quadro com medidas mitigadoras na intenção de atenuar os problemas encontrados no decorrer do referido trabalho.

.Tabela 3 Quadro de medidas mitigadoras para o município.

ASPECTOS LEGAIS	ASPECTOS TÉCNICOS ASPECTOS	ASPECTOS COMPORTAMENTAIS
Desenvolvimento de um Plano Municipal de Águas Pluviais juntamente com o Plano Diretor	Estudo aprofundado das bacias hidrográficas urbanas juntamente com os índices pluviométricos para execução de estruturas adequadas às situações	Criação de uma cartilha com instruções de como manter as estruturas do sistema pluvial em condições de funcionamento
Criação de um cronograma funcional de limpeza de bocas de lobo. e das sarjetas por parte da Prefeitura.	Execução da rede de esgoto em separador absoluto da rede pluvial para o canal de drenagem	Campanhas de educação sobre a destinação correta do lixo
	Estudo das regiões com pontos críticos de alagamento e monitoramento dos mesmos	
	Padronização nas bocas-delobo para permitir a limpeza do interior da caixa	
	Fiscalização quanto à ocupação irregular em áreas ribeirinhas	
	Fiscalização quanto ao despejo de esgoto no canal destinado a rede pluvial	
	Fiscalização eficaz quanto ao cumprimento dos índices urbanos em novas edificações	

Fonte: BELLÉ 2011, adaptado por SALES, 2017.

7. CONCLUSÃO

O presente trabalho se desenvolveu em cima de dois fatores de pesquisa, sendo: averiguar quais as medidas legais existentes no Município referentes ao tema e examinar as medidas técnicas estruturais implantadas no trecho selecionado para o estudo de caso, de forma a alcançar todos os objetivos.

Na busca por dados foi possível perceber o quão desprovido de documentos e leis pertinentes ao tema é o município, o mesmo não apresenta projetos de instalação de redes pluviais do objeto de estudo, assim como um zoneamento adequado ou um Plano de Drenagem, disponibilizando apenas um documento com relação ao tema que foi negado em votação e medidas de gestões antigas que não existem mais no site da prefeitura.

No que se referem às técnicas estruturais presentes no local, observou um sistema falho, no qual a quantidade de bocas de lobo é insuficiente para receber um volume tão grande de vazão, além da falta de manutenção das mesmas, deixando de contribuir para um sistema de drenagem e se tornando um problema para proximidades. Contudo, a realização de um projeto de dimensionamento convencional da rede pluvial como solução, apesar de se mostrar eficiente, é um processo muito oneroso e acabaria transferindo o problema para jusante, pensando nisso optou como método para realizar o controle de vazão, o uso de técnicas compensatórias, sendo a mais adequada à implantação de um reservatório de retenção, promovendo a amortização das vazões, como também fins paisagísticos e recreativos.

Desta forma é de suma importância aliar os procedimentos técnicos com a criação de uma legislação pertinente ao tema, de forma a contribuir para um funcionamento eficaz do sistema, assim os conhecimentos técnicos serão executados não apenas na concepção de leis, como também na fiscalização, execução de obras e monitoramento dos sistemas de drenagem, ou seja, trabalhar de forma integrada com todos os sistemas em pro do bem da população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSMANN, A. ; LASTA, C. D. A Influência da Drenagem Urbana nas Enchentes Rurais: Estudo de Caso no Município de São Jorge d'oeste - PR, 2015. Disponível em:

<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5609/1/PB_COECI_2015_1_07.pdf>. Acesso em: 15 Maio 2017.

BARBOSA, F. D. A. D. R. Medidas de Proteção e Controle de Inundações Urbanas na Bacia do rio Mamanguape/PB. **CPMR**, 2006. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/diss_franciscobarbosa.pdf>. Acesso em: 25 Dezembro 2016.

BATISTA, et al. Águas Pluviais:Técnicas Compensatórias para o Controle de Cheias Urbanas: : guia do profissional em treinamento : nível 2 e 3. **NUCESA**, 2007. Disponível em: <<http://nucase.desa.ufmg.br/wp-content/uploads/2013/08/APU-TCCU.2-e-3.pdf>>. Acesso em: 24 Novembro 2016.

BENINI, S. M. ÁREAS VERDES PÚBLICAS: A construção do conceito e a análise geográfica desses espaços no ambiente urbano. **UNESP**, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/92855/benini_sm_me_prud.pdf?sequence=1>. Acesso em: 30 Novembro 2016.

FCTH. Diretrizes Básicas para Projeto de Drenagem Urbana no Município de São Paulo. **Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica**, 1999. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/docentes/deptechnologia/r_toledo/3textos/07drenag/dren-sp.pdf>. Acesso em: 23 Maio 2017.

IBGE. Censo. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/nomes/#/search>>. Acesso em: 12 Julho 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=251620>>. Acesso em: 30 Novembro 2016.

INSTITUTO DE PESQUISA HIDRAÚLICAS. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Manual de Drenagem Urbana, 2005. Disponível em:

<http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manual_de_drenagem_ultima_versao.pdf>. Acesso em: 03 Junho 2017.

NETO, C. Sistemas Urbanos de Drenagem. **ANA -Agência Nacional das Águas**, 2008. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%20Cardoso%20Neto/Introducao_a_drenagem_urbana.pdf>. Acesso em: 03 Junho 2017.

SANTORO, J.; AMARAL, ; TOMINAGA,. Desastres Naturais: Conhecer para prevenir. **Instituto Geológico**, 2009. Disponível em: <<http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/DesastresNaturais.pdf>>. Acesso em: 10 janeiro 2017.

SILVEIRA, A. L.. Drenagem Urbana: Aspectos de Gestão. **Documentos**, 2002. Disponível em: <<https://documents.tips/documents/apostila-de-drenagem-urbana-do-prof-silveira.html>>. Acesso em: 02 Junho 2017.

SMDU. Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais: Gerenciamento do sistema de drenagem urbana. **Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano**, 2012. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/desenvolvimento_urbano/arquivos/manual-drenagem_v1.pdf>. Acesso em: 23 Maio 2017.

STEINER, L. Avaliação do Sistema de Drenagem Pluvial Urbana com Aplicação do Índice de Fragilidade. Estudo de Caso: Microbacia do Rio Criciúma, SC. **UNESC**, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/1356/1/Laura%20Steiner.pdf.pdf>>. Acesso em: 24 Novembro 2016.

TOMINAGA, N. D. S. Urbanização e Cheias: Medidas de Controle na Fonte. **Biblioteca Digital**, 2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-19092014-120127/pt-br.php>>. Acesso em: 15 Maio 2017.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem Urbana**: Coleção ABRH de Recursos Hidricos. Porto Alegre: Universidade\UFRGS. ABRH, v. 5, 1995.

TUCCI, C. E. M. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 1997. Disponível em: https://abrh.s3-sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/56/db01fdcd78c5843f024709a1bf2b7bdb_6f0118d184384e38afda2b400a5d6458.pdf. Acesso em: 24 Novembro 2016.

TUCCI, C. E. M. Gestão de Águas Pluviais Urbanas. **Capacidades**, 2005. Disponível em: <http://www.capacidades.gov.br/media/doc/acervo/06906898a257ceb3ec8687675e9e36c8.pdf>. Acesso em: 25 janeiro 2017.

TUCCI, E. M. Inundações Urbanas na América do Sul. **Comissão Econômica para a América Latinal e o Caribe**, 2003. Disponível em: <http://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/5/23335/inbr02803.pdf>. Acesso em: 23 Dezembro 2016.

TUCCI, E. M. Plano Diretor de Drenagem Urbana. **Curso de Gestão de Águas Pluvia**, 2013. Disponível em: [file:///C:/Users/airton%20gato/Downloads/-upload-20130820150849capitulo_5__plano_diretor_de_drenagem_urbana%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/airton%20gato/Downloads/-upload-20130820150849capitulo_5__plano_diretor_de_drenagem_urbana%20(1).pdf). Acesso em: 27 Junho 2017.