

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR - MG
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
THIAGO HENRIQUE ALMEIDA SILVA

CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE DRENAGEM URBANA
EM ZONA COMERCIAL DO MUNICÍPIO DE LAGOA DA PRATA - MG

FORMIGA – MG

2017

THIAGO HENRIQUE ALMEIDA SILVA

CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE DRENAGEM URBANA EM
ZONA COMERCIAL DO MUNICÍPIO DE LAGOA DA PRATA - MG

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil do UNIFOR-MG, como
requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia
Civil. Orientador: Prof. Dr. Michael
Silveira Thebaldi

FORMIGA – MG

2017

S586 Silva, Thiago Henrique Almeida.
Concepção e dimensionamento de sistema de drenagem urbana em
zona comercial do município de Lagoa da Prata - MG / Thiago Henrique
Almeida Silva. – 2017.
59 f.

Orientador: Michael Silveira Thebaldi.
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil)-Centro Universitário
de Formiga-UNIFOR, Formiga, 2017.

1. Microdrenagem. 2. Bocas coletoras. 3. Inundações. I. Título.

CDD 627.4

THIAGO HENRIQUE ALMEIDA SILVA

CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE DRENAGEM URBANA EM
ZONA COMERCIAL DO MUNICÍPIO DE LAGOA DA PRATA - MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG, como
requisito parcial para obtenção do título de bacharel
em Engenharia Civil.

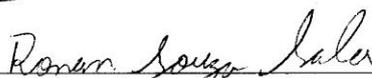
Orientador: Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

BANCA EXAMINADORA



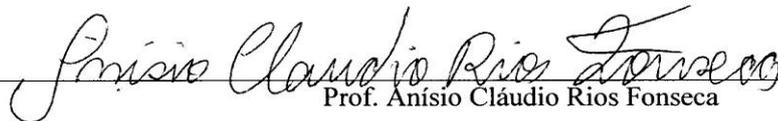
Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

Orientador



Prof. Ronan Souza Sales

UNIFOR-MG



Prof. Anísio Cláudio Rios Fonseca

UNIFOR-MG

Formiga, 31 de Outubro de 2017.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus que foi meu refúgio nos dias de maiores turbulências na minha vida acadêmica, assim como nos dias das mais importantes realizações de minha vida. Ao meu pai Gilmar Francisco da Silva e a minha mãe Eliamar Barbosa de Almeida Silva por serem os alicerces da estrutura da minha vida, e meu irmão Thales Francisco Almeida Silva, por ser minha fonte principal de incentivo nos estudos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo refúgio e fortaleza que encontrei em seu amor, que me guiou pelo caminho árduo dos estudos, nos momentos difíceis e nos momentos de maiores alegrias.

Agradeço aos meus pais Gilmar e Eliamar, pelo total incentivo, por me ajudarem nos momentos de angústia, e de dificuldades, e por sempre estarem ao meu lado com seu amor incondicional.

Agradeço à companhia indispensável de meu irmão Thales, que sempre foi um modelo de companheirismo e confiança para mim.

Agradeço ao meu orientador Michael Silveira Thebaldi, por toda dedicação e atenção exemplar concedida no decorrer deste trabalho, o que foi essencial para a conclusão do mesmo.

Ao Sr. Charlie A. Braga, que me forneceu dados valiosíssimos para a execução deste trabalho.

Um agradecimento especial aos meus colegas de sala, que foram sempre companheiros e pacientes, nos momentos de estudos, e de descontração. Agradeço também aos meus amigos de convívio pessoal e profissional, por toda a compreensão e presença nos momentos que necessitei de uma boa conversa e bons momentos memoráveis.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso realizado para a microdrenagem no município de Lagoa da Prata-MG, localizado nos encontros das ruas Isabel de Castro, Praça Chico Silveira e Rio de Janeiro com a Av. Brasil. De modo geral, a microdrenagem é responsável por conter os problemas gerados por inundações em dias de chuva intensa, e assim proporcionar uma melhor qualidade de vida para a população e melhorar o trânsito nas vias de maior fluxo. Portanto, o objetivo principal deste trabalho é apresentar um projeto de drenagem urbana para a área mais prejudicada no centro do município, capaz de conter as enchentes e inundações que ocorrem no principal centro comercial de Lagoa da Prata- MG a fim de expor possíveis deficiências na estrutura de drenagem atual. Deste modo, foram levantados os parâmetros hidrológicos envolvidos no dimensionamento da estrutura de microdrenagem, analisando a atual situação de desenvolvimento e urbanização da região de estudo, a fim de ser feito o levantamento dos valores das vazões de projeto, que por fim serão captadas pelas estruturas de microdrenagem que foram dimensionadas. As bocas coletoras foram posicionadas com o objetivo de coletar as vazões superficiais antes mesmo que chegassem ao talvegue principal. Por fim, após observar os problemas gerados pela falta de um sistema adequado de drenagem e com os dados obtidos, foi constatado que as estruturas dimensionadas serão suficientes para sanar o problema de inundações, assim evitando que a água se acumule para depois ser drenada, que é o que ocorre atualmente no local de análise. Desta forma, como possível solução do problema, torna-se necessário um novo sistema de drenagem para a o trecho de encontro entre as Ruas Isabel de Castro, Praça Chico Silveira e Rio de Janeiro com a Av. Brasil.

Palavras chave: Microdrenagem; Bocas coletoras; Inundações.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxos anuais do ciclo hidrológico global, em milhares de km ³ ao ano.....	12
Figura 2 - Escoamento em áreas impermeáveis.	14
Figura 3 - Ilhas de calor, comparação entre zona rural e cidade.	14
Figura 4 - Gestão de Águas Pluviais	16
Figura 5 - Reservatório on-line.....	19
Figura 6 - Reservatório off-line	19
Figura 7 - Reservatório On-line e off – line	20
Figura 8 - Sarjeta	26
Figura 9 - Sarjetões.....	26
Figura 10 - Guia.....	27
Figura 11 - Boca Coletora	28
Figura 12 - Galerias	28
Figura 13 - Poços de visita	29
Figura 14 - Caixa de ligação.....	29
Figura 15 - Retificação de Cursos d'água	31
Figura 16 - Canais artificiais	31
Figura 17 - Áreas de inundações críticas no Centro de Lagoa da Prata - MG.....	33
Figura 18 - Representação da Rua Isabel de Castro	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Períodos de retorno para diferentes ocupações da área.....	22
Tabela 2 - Risco R em % para diferentes valores de T e N.....	23
Tabela 3 - Coeficientes C para áreas urbanas.....	36
Tabela 4 - Coeficientes C para áreas Urbanas.....	37
Tabela 5 - Coeficiente de deflúvio “C” de acordo com o revestimento da superfície.	37
Tabela 6 - Fator de correção de C.....	39
Tabela 7 - Fatores de redução de escoamento de sarjetas	40
Tabela 8 - Espaçamentos dos poços de visita.....	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS.....	11
2.1	Objetivos Gerais.....	11
2.2	Objetivos específicos.....	11
3	CICLO HIDROLÓGICO.....	12
3.1	Impactos da urbanização no ciclo hidrológico.....	13
4	ÁGUA NO MEIO URBANO.....	15
4.1	Gestão da água no meio urbano.....	15
5	Parâmetros hidrológicos envolvidos no projeto de drenagem urbana.....	20
5.1	Período de retorno.....	21
5.2	Chuva de projeto.....	23
5.3	Tempo de concentração.....	24
5.4	Vazão de escoamento superficial.....	24
6	SISTEMAS DE DRENAGEM PLUVIAL.....	25
6.1	Microdrenagem.....	25
6.2	Elementos constituintes.....	26
6.3	Macro drenagem.....	30
6.4	Elementos constituintes.....	30
7	MATERIAL E MÉTODOS.....	33
7.1	Representação das bacias de contribuição.....	34
7.2	Cálculo das declividades médias das bacias.....	34
7.3	Escolha do período de retorno.....	34
7.4	Cálculo do tempo de concentração.....	35
7.5	Cálculo da intensidade de precipitação.....	35
7.6	Cálculo do deflúvio superficial direto.....	35
7.7	Microdrenagem.....	39
7.7.1	Dimensionamento de sarjetas.....	39
7.7.2	Dimensionamento de bocas coletoras.....	41
7.7.3	Galerias.....	42
7.7.4	Poços de visita.....	43
8	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
9	CONCLUSÃO.....	51

1 INTRODUÇÃO

A drenagem urbana tem como objetivo principal, remover as águas em excesso provenientes das chuvas, de forma eficaz, com o intuito de evitar transtornos, prejuízos, e riscos a que as populações estão sujeitas diante às grandes inundações.

A urbanização acelerada modifica drasticamente o cenário habitual das cidades, principalmente em grandes centros comerciais, onde ocorrem os maiores problemas de inundações, graças à diminuição de áreas permeáveis, o que aumenta a vazão superficial de escoamento e diminuição do tempo de concentração da bacia, alteração do curso natural de escoamento, modificação nos sistemas de drenagem já existentes, alteração no clima local.

No presente trabalho foi projetado um sistema de drenagem que resolve os problemas de inundações no talvegue localizado no encontro da Av. Brasil com a rua Isabel de Castro situadas no município de Lagoa da Prata- MG. Nesta região se localiza o maior centro comercial da cidade, onde há um grande fluxo de pedestres e veículos, o que torna essencial a elaboração de medidas eficazes contra problemas com inundações.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Dimensionar um sistema de drenagem que siga os critérios de Engenharia de uma área comercial no município de Lagoa da Prata – MG.

2.2 Objetivos específicos

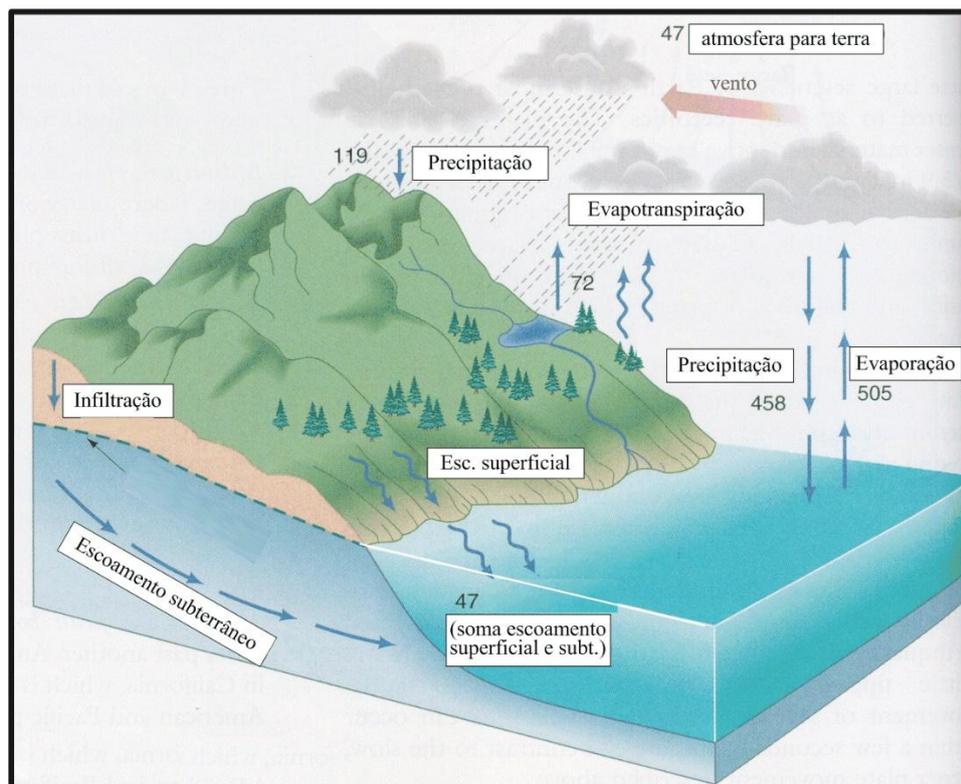
- Determinar a área da bacia de contribuição e o sentido do escoamento;
- Determinar os parâmetros hidrológicos envolvidos no projeto de drenagem urbana, como Intensidade Máxima Média, Tempo de Concentração e Vazão de Escoamento Superficial;
- Dimensionar estruturas de microdrenagem com os dados levantados;
- Realizar um comparativo entre a estrutura dimensionada e a que se encontra atualmente no local.

3 CICLO HIDROLÓGICO

A natureza está em constante atividade, principalmente quando se diz respeito ao ciclo natural da água. Em constante movimento de reciclagem, a água que vemos escoando superficialmente provém dos oceanos, e a eles retornam. Este ciclo é chamado de ciclo hidrológico (GRIBBIN, 2009). Fundamentalmente ocorre devido à fatores como: a energia térmicasolar, a força dos ventos, a qual se encarrega de levar o vapor d'água para os continentes, a gravidade, responsável pelo estágio da precipitação, infiltração e os deslocamentos das massas de água (TUNDISI, 2001).

Segundo Tucci (1993) o ciclo hidrológico só é considerado fechado a nível global, pois como o planeta está em constante movimento, tanto na superfície terrestre quanto na atmosfera, o volume de água que evapora em uma localidade do globo, não necessariamente precipita no mesmo local, como ilustrado na FIG. 1.

Figura 1 - Fluxos anuais do ciclo hidrológico global, em milhares de km³ ao ano.



Fonte: Botkin e Keller (2005).

Gribbin (2009) menciona que ciclo hidrológico, apesar de ser complexo em seu funcionamento, obedece, de maneira geral, as seguintes etapas:

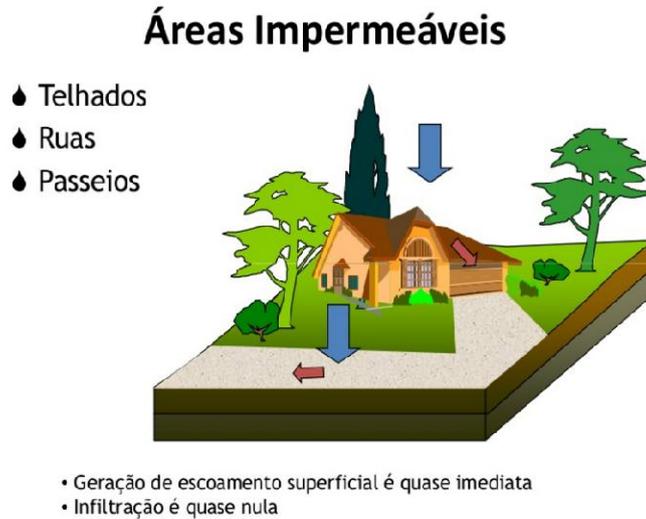
1. A água evapora a partir de lagos e oceanos de todo o globo.
2. A água que evapora forma nuvens.
3. De acordo com cada localidade no planeta, cada uma delas com seus padrões climáticos, as nuvens se deslocam pela atmosfera.
4. O vapor da água condensa e precipita-se sob a forma de chuva, granizo ou neve.
5. A chuva incide sobre o solo, e por meio dele, escoam até os pequenos córregos, Através do escoamento superficial, o qual é o que acontece mais rápido, levando minutos e no máximo horas até que chegue nos rios e córregos; Por meio do escoamento de água no subsolo;
6. Os córregos escoam até os rios, os quais levam a água novamente para os oceanos e lagos.

3.1 Impactos da urbanização no ciclo hidrológico

A urbanização traz consigo consequências para o ambiente, assim, com o crescimento das cidades, há o acompanhamento do aumento na circulação de pessoas, no número de residências, necessidade de ruas pavimentadas, etc. Com isso, é notório o fato de que cada vez mais tem-se diminuído na área permeável em grandes centros urbanos, o que acarreta na desregulação do clima a longo prazo, introduzindo alterações significativas no balanço hídrico, impactando por exemplo na qualidade das águas de chuva, ou até mesmo diminuindo as vazões mínimas. Um problema perceptível dessas mudanças, é o crescimento das vazões máximas de cheia, verificando-se que o pico de chuva numa bacia urbanizada pode ser seis vezes maior do que o pico desta bacia antes da urbanização, ou seja, em seu estado natural (TUCCI, 2008).

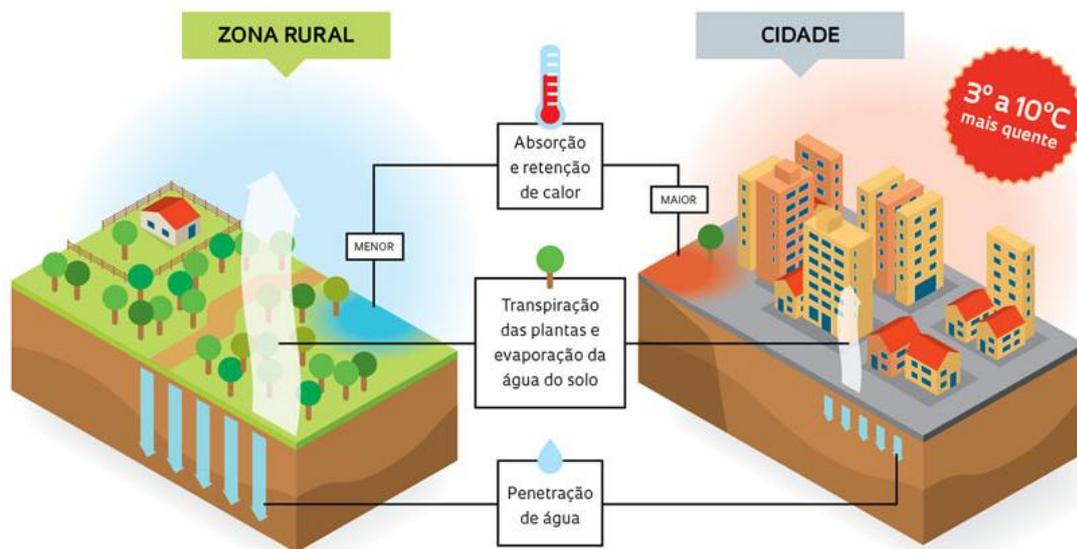
Tucci (1997) menciona que com o crescimento dos centros urbanos, temos o aumento das áreas impermeáveis, fato que traz consigo uma influência direta no ciclo natural da água, atrapalhando por exemplo na infiltração da água no solo, fazendo com que os níveis dos lençóis freáticos dos aquíferos diminua. Outro exemplo claro, é o do aumento do escoamento superficial, o qual acarreta enchentes e alagamentos trazendo problemas de saneamento básico para os moradores das áreas mais afetadas. Nas FIG. 2 e 3, são mostradas representações de alguns aspectos que são alterados nas cidades.

Figura 2 - Escoamento em áreas impermeáveis.



Fonte: Santos (2013).

Figura 3 - Ilhas de calor, comparação entre zona rural e cidade.



Fonte: Pivetta (2012).

A cada dia vem se tornando cada vez mais natural a ocorrência das ilhas de calor, que dá-se à edificação de cidades, o que altera de forma radical o padrão de ocupação do solo. No lugar de grama, árvores, terra exposta, plantações, que amenizam as altas temperaturas tanto a nível do solo como do ar, no cenário urbano, uma série de materiais impermeáveis toma conta do meio e acaba retendo o calor de forma diferente da vegetação predominante na zona rural.

No campo, a presença grande de vegetação composta por árvores e outras plantas rasteiras, cria zonas de sombra capazes de reduzir a temperatura do solo, alteração que, acarreta à diminuição da temperatura atmosférica. As áreas verdes também contribuem para refrescar o clima de um lugar por meio da evapotranspiração que nada mais é do que a perda de água de uma comunidade ou ecossistema para a atmosfera, causada pela evaporação a partir do solo ou pela transpiração de plantas, de forma a dissipar o calor do ambiente (PIVETTA, 2003).

4 ÁGUA NO MEIO URBANO

Para que haja o bem-estar da sociedade, um dos fatores importantes é a existência de boa qualidade na gestão de recursos hídricos, já que a água é de suma importância para a maioria das atividades humanas. Com o aumento da variedade e intensidade do uso deste insumo, ocorrem conflitos entre usuários e a melhor forma de evitar e conseguir administrar estes problemas é ter uma gestão integrada do uso, controle e conservação dos recursos hídricos (TUCCI, 1993).

Um processo de administração de recursos hídricos, deve ser composto por uma gestão que estabeleça as diretrizes gerais, por um modelo de gerenciamento que proponha a configuração administrativa e funcional necessária para tal e por um modo sistematizado de gerenciamento, constituído pelo conjunto de organizações, instalações governamentais e privadas, para a execução da política por meio de um modelo adotado e tendo por ferramenta o planejamento ambiental (SILVA; PRUSKI, 2000).

4.1 Gestão da água no meio urbano

Toda bacia hidrográfica, de acordo com o tipo do solo, cobertura vegetal, declividades, características em geral, é composta por um emaranhado de elementos de drenagem, como rios, córregos, pântanos, riachos, onde os mesmos naturalmente se formaram e se mantêm em função da dinâmica e das características próprias do terreno. No meio urbano, com o aumento significativo do uso do solo da bacia, este equilíbrio é alterado drasticamente por elementos artificiais e pelo aumento das descargas. Tendo em vista os problemas gerados por essa modificação no meio, é necessário a implantação de elementos capazes de garantir o funcionamento do sistema viário e dar acesso aos lotes e habitações (MARTINS, 2012).

Viola (2012) define que a gestão de águas pluviais é o resultado do gerenciamento, da elaboração e criação de políticas de legislação baseada em estratégias, princípios, procedimentos e diretrizes de ações para garantir de forma satisfatória o funcionamento da drenagem, a disponibilidade hídrica, tal como preservar a qualidade de vida da população, assegurando um desenvolvimento sustentável da mesma. Tal definição é apresentada na FIG. 4.

Figura 4 - Gestão de Águas Pluviais



Fonte: Viola (2012)

Segundo Tucci (2005), os principais sistemas relacionados com a água no meio ambiente urbano são:

- Mananciais de águas: São todas as fontes de água, seja subterrânea ou superficial, que podem ser utilizadas para consumo humano ou desenvolvimento de atividades econômicas;
- Controle das inundações ribeirinhas: Processo responsável por procurar meios de garantir que a população que habita em locais próximos a corpos hídricos, não seja afetada por processos naturais de inundação;
- Saneamento de efluentes sanitários: É o sistema responsável pela captação de efluentes provenientes de indústrias, residências e comércios, objetivando o tratamento dos mesmos nas ETE (Estações de tratamento de esgoto), para serem depois lançados nos corpos hídricos;

- Abastecimento de água: Envolve a utilização da água fornecida pelo manancial, a qual passa pela ETA (Estação de tratamento de água), sendo depois distribuída para a população por meio de uma rede;
- Controle da drenagem urbana: É o conjunto de medidas de coleta de águas pluviais (e, em partes, de resíduos sólidos) que se originam a partir de precipitações sobre áreas urbanas- que tenham como objetivo minimizar os riscos que a população está sujeita, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável.

Tucci (2003) cita que no cenário atual de desenvolvimento urbano, existem maneiras cada vez mais sustentáveis e eficazes de drenagem urbana, sendo que cada medida é aplicada de acordo com estágio de desenvolvimento da área em análise. Os sistemas de drenagem são definidos como: na fonte, microdrenagem, macrodrenagem.

Na fonte, que se refere a nível do lote ou em qualquer área inicial de desenvolvimento, podem ser utilizadas medidas sustentáveis de retenção, que controla a vazão máxima a partir de um pequeno reservatório; o uso de áreas de drenagem para a infiltração em áreas impermeáveis na própria residência assim recuperando a capacidade de infiltração da bacia; a utilização de pavimentos permeáveis, que também auxilia na passagem da água no solo, fazendo assim o abastecimento dos reservatórios naturais subterrâneos (TUCCI, 2003).

A microdrenagem tem o propósito de garantir o bom desempenho dos sistemas viários e de acesso, é formada pelas bocas coletoras, galerias de drenagem, sistemas de retenção e infiltração nos lotes e pavimentos, pavimentação das ruas, guias e sarjetas, entre outros. (MARTINS, 2012). Tucci (2005) afirma que a medida adotada tradicionalmente para o controle do escoamento na microdrenagem consiste em captar as águas pluviais da área da bacia por meio de condutos, assim direcionar as águas até um coletor principal ou riacho urbano.

O sistema de macrodrenagem é formado por um aglomerado de canais que em sua maioria, corresponde à rede natural de canais existentes nos terrenos antes da urbanização, o qual era composto por rios, riachos, córregos, entre outros (BAPTISTA, 2005). Tucci (2008) propõe que este sistema seja projetado de forma a acomodar precipitações superiores as da microdrenagem, afim de minimizar riscos, de acordo com os prejuízos humanos e materiais potenciais, causados principalmente por cheias com períodos de retorno relativamente grandes (geralmente tempos de retorno entre 25 a 100 anos). A macrodrenagem admite um baixo risco

de falhas, todo seu sistema deve ser sistematicamente interconectado, para poder transferir problemas de um subsistema para outro dado que a mesma é responsável por receber todo o impacto trazido pela microdrenagem em épocas de cheias (MARTINS, 2012).

Para que o acréscimo de vazão máxima (gerado a partir do aumento das áreas impermeáveis e das canalizações) não seja transferido para a jusante, o volume gerado deve ser amortecido através de dispositivos como: Tanques, Reservatórios (bacias de detenção/retenção). Estas estruturas tem como objetivo diminuir o impacto hidrológico da redução da capacidade natural de armazenamento da bacia (TUCCI, 2008).

Canholi (2005) classifica as áreas de reservação de duas formas:

- a) Bacias de retenção são reservatórios dimensionados para manterem uma lâmina permanente de água. Durante ou imediatamente após as intensas precipitações, o nível da água se eleva acima dos níveis normais. A lâmina d'água permanente tem como finalidade servir como área de recreação, ser utilizado para abastecimento de água, para fins paisagísticos, entre outros. Após um certo período de tempo, o volume extra é lançado gradualmente na rede de drenagem a jusante.
- b) Bacias de detenção são reservatórios que predominantemente ficam secos (durante as estiagens), mas são projetados para reter as águas superficiais somente durante e após as chuvas. Estas bacias são projetadas para funcionar em série com a rede de drenagem e para esvaziar completamente em menos de 24 horas. A detenção do escoamento direto reduz o potencial erosivo da vazão na bacia e previne contra impactos sobre a vida aquática no corpo receptor.

Ainda de acordo com Canholi (2005), os mais fundamentais tipos de estruturas de reservação são os reservatórios on-line e off-line.

Geralmente por gravidade e de maneira consecutiva, os reservatórios on-line encontram-se na linha principal do complexo e restabelecem os escoamentos de forma abrangida ao sistema de drenagem, como é apresentado na FIG. 5.

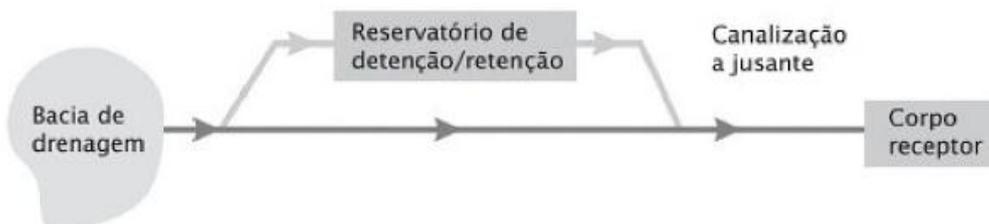
Figura 5 - Reservatório on-line



Fonte: Canholi, (2005)

Os reservatórios off-line retêm volumes de água desviados da rede de drenagem principal quando ocorre a cheia, e após ser alcançado o alívio dos picos de vazão, os restauram para o sistema, na maioria dos casos, por bombeamento, ou por válvulas controladas, como mostra a FIG. 6.

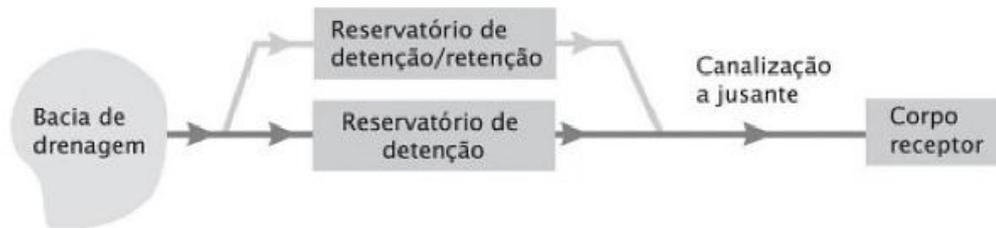
Figura 6 - Reservatório off-line



Fonte: Canholi (2005)

Mas existem casos também, como é apresentado na figura 7, onde é necessária a instalação dos dois tipos de reservatórios para armazenamento, incluindo o controle da qualidade da água. Geralmente, se pode acoplar o reservatório off-line com a intenção de reter os volumes iniciais do escoamento, que traz consigo normalmente a maior carga de poluentes, provenientes da lavagem das ruas e edificações, ao reservatório permanente on-line.

Figura 7 - Reservatório On-line e off – line



Fonte: Canholi (2005)

5 Parâmetros hidrológicos envolvidos no projeto de drenagem urbana

Pesquisas e estudos em hidrologia urbana são de grande valor para o conhecimento em maior profundidade dos problemas da água no meio urbano. Além do levantamento de parâmetros, pesquisas com intuito de inovação e observações de eventos hidrológicos buscam novos questionamentos e novas abordagens que permitam prosseguir na evolução do entendimento do ambiente urbano, com o emprego de novas ferramentas tecnológicas e conceituações atualizadas, face a evolução da tecnologia e as complexidades sempre crescentes da ocupação e do uso do ambiente urbano (RIGUETTO, 2009).

Os estudos hidrológicos voltados à drenagem urbana no Brasil são realizados adotando-se métodos hidrológicos desenvolvidos nos Estados Unidos e em países europeus, mais especificadamente devido à carência de dados fluviométricos que subsidiariam análises estatísticas de cheias. Como em nosso país existem bacias hidrográficas com diferentes particularidades geomorfológicas, de precipitações de projeto, tempos de concentração e condições de ocupação do solo, é indispensável a realização de pesquisas específicas para conferir a validação de tais métodos na realidade brasileira (DRUMOND, 2012).

Chevallier (1993) divide os parâmetros da hidrologia em três categorias:

- a) Parâmetros do escoamento: descargas sólida e líquida e parâmetros secundários ligados aos primeiros (área da bacia delimitada pela rede de drenagem, velocidade, nível da água, qualidade da água e dos sedimentos transportados, características da rede de drenagem, reservatórios naturais e artificiais...);

- b) Parâmetros climáticos: evapotranspiração, precipitação e parâmetros secundários ligados aos primeiros (temperatura, radiações solares, umidade do ar, vento, ...);
- c) Parâmetros característicos do meio receptor (geologia, topografia, solos, vegetação, urbanização...).

5.1 Período de retorno

É o período de tempo médio que um determinado evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez. É um item fundamental para a avaliação e projeto de sistemas hídricos como canais, bueiros, reservatórios, vertedores, galerias de águas pluviais, entre outros. (RIGHETTO, 1998).

Ao determinar que uma obra será projetada para uma vazão com período de retorno de T anos, automaticamente decide-se o grau de proteção conferido à população, ou seja, o risco que a mesma ainda está sujeita, mesmo depois da execução da obra. Trata-se, portanto, de escolher qual o risco aceitável pela comunidade. Claramente este é um critério a ser definido em domínios políticos, uma vez que, em teoria, é a própria comunidade e seus representantes que deverão decidir o grau de proteção desejável e o quanto estão dispostos a pagar por ele (PORTO et al., 1993).

Porto et al. (1993) ainda afirma que as dificuldades em estabelecer objetivamente período de retorno, dada a heterogeneidade das características de cada local em estudo, fazem com que a escolha recaia sobre valores aceitos de forma mais ou menos ampla por meio técnico. Como critério de projeto, muitas instituições fixam os períodos de retorno para diversos tipos de obra. Os valores apresentados na TAB. 1 são encontrados normalmente na literatura técnica e desfrutam de certo consenso internacional.

Tabela 1 - Períodos de retorno para diferentes ocupações da área

Tipo de Obra	Tipo de ocupação da área	T (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviços ao público	5
	Aeroportos	2-5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5-10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50-100
	Áreas de importância específica	500

Fonte: Tucci (1993)

A diferença entre os conceitos de período de retorno e risco é importante para a escolha do valor desejado: entende-se por risco a probabilidade de uma determinada obra vir a falhar pelo menos uma vez durante sua vida útil. Esse conceito leva em conta que uma obra projetada para um período de retorno T expõe-se todo o ano a uma probabilidade $1/T$ de vir a falhar. É intuitivo que ao longo de sua duração essa obra terá um risco de falha maior do que $1/T$, porque se exporá repetidamente a essa probabilidade (PORTO et al., 1993). O risco é definido pela Equação 1.

$$R = 100 \times \left[1 - \left(1 - \frac{1}{T} \right)^N \right] \quad (1)$$

onde:

R - Risco em porcentagem (%)

T - Período de retorno (anos)

N - Vida útil da obra (anos)

De acordo com Porto et al. (1993), as obras de drenagem urbana buscam reduzir a frequência de inundação ao longo de sua vida útil, como é apresentado na TAB. 2.

Tabela 2 - Risco R em % para diferentes valores de T e N

T (anos)	Vida útil da obra N (anos)				
	2	5	25	50	100
2	75	97	99,9	99,9	99,9
5	36	67	99,6	99,9	99,9
10	19	41	93	99	99,9
25	8	18	64	87	98
50	4	10	40	64	87
100	2	5	22	39	63
500	0,4	1	5	9	18

Fonte: Porto et al. 1993.

5.2 Chuva de projeto

A intensidade da chuva é a quantidade da mesma, por unidade de tempo, relacionada a uma duração e um período de retorno previamente previstos. Para conseguir essa informação, a partir de dados pluviométricos registrados ao longo de vários anos de estudo e observação é feita uma análise de curvas que relacionam duração/intensidade/frequência (UFCG, 2014).

Barbosa Júnior (2014) relata que na prática, obtém-se a chuva de projeto a partir das curvas ou equações de intensidade-duração-frequência, válidas para a região em análise. Estas equações expressam-se normalmente por meio de modelos da forma apresentada pela Equação 2:

$$i = \frac{k \times Tr^a}{(b + t_d)^c} \quad (2)$$

Onde:

I - Intensidade de precipitação (mm/h);

Tr - período de retorno (anos);

Td - Tempo de duração da chuva (min);

k, a, b, c - coeficientes determinados para cada local.

Na equação, o tempo de duração da chuva (t_d), deve corresponder ao tempo de duração da precipitação crítica de projeto que, no caso, deve ser feita igual a tempo de concentração (t_c), para o qual existem várias formulações empíricas (BARBOSA JÚNIOR, 2014).

5.3 Tempo de concentração

Porto et al. (1993) define o tempo de concentração como tempo que a água precipitada no ponto mais distante da bacia precisa para deslocar-se até a seção principal. Adicionalmente, Barbosa Júnior (2014) cita que tempo de concentração se refere à soma do tempo de encharcamento da camada superficial do solo com o tempo que a partícula da água precipitada que cai no ponto mais distante da seção considerada leva para, escoando superficialmente, atingir esta seção.

Existe uma ampla quantidade de fórmulas que estabelecem o valor de t_c em função de características próprias da bacia, como declividade, comprimento do talvegue, rugosidade das superfícies, área, entre outras e, conseqüentemente, da intensidade da chuva. Essas fórmulas se originam de estudos de laboratório ou experimentais de campo e, portanto, devem ser aplicadas em condições que se aproximem o melhor possível daquelas para as quais foram determinadas (PORTO et al., 1993)

A determinação do tempo de concentração por meio de fórmulas empíricas está sujeita a imprecisões e incertezas significativas que devem ao tipo de escoamento que cada fórmula procura representar (TUCCI, 1993).

5.4 Vazão de escoamento superficial

Tucci (1993) afirma que a vazão máxima é utilizada para ser feita a previsão de enchentes e também na execução do projeto de obras hidráulicas tais como condutos, bueiros, canais, entre outras. No dimensionamento, as vazões devem apresentar condições identificadas dentro das mais desfavoráveis. Visto isso, deve-se definir o risco de um projeto de acordo com os objetivos do mesmo e dentro destas condições de risco, explorar as situações mais críticas.

A vazão máxima pode ser estimada com base no ajuste de uma distribuição estatística, na regionalização de vazões e na precipitação. A precipitação máxima é acurada com base no

risco ou tempo de retorno escolhido para o projeto. A vazão resultante não possui fundamentalmente o mesmo risco, se comparado com os métodos anteriores, devido aos diferentes fatores que envolvem a transformação da precipitação em vazão. Os principais fatores são as condições iniciais de perdas do solo, de escoamento dos rios e reservatórios, além da distribuição espacial e temporal da precipitação (TUCCI,1993).

6 SISTEMAS DE DRENAGEM PLUVIAL

De acordo com Matos et al. (1994), os principais objetivos dos sistemas de drenagem urbana são:

- a) Transportar as águas pluviais, resultantes do escoamento superficial de áreas impermeáveis, até um destino final adequado, evitando a ocorrência de inundações;
- b) Garantir o cumprimento das condições de descarga, tanto das ETAR como de descargas de sistemas unitários por ocorrência de precipitação ou de sistemas separativos pluviais, preservando os meios receptores.

Os sistemas de drenagem urbana são constituídos basicamente por redes coletoras, elementos acessórios (sarjetas, descarregadores, câmaras de corrente de varrer, sumidouros e câmaras de visita), instalações complementares (câmaras de grades, sifões invertidos, bacias de retenção, desarenadores e câmaras de grades), instalações de tratamento e dispositivos de descarga final (MATOS et al., 1994).

6.1 Microdrenagem

De acordo com a Universidade Federal de Campina Grande – UFCG (2014a) a microdrenagem inclui a captação e condução das águas superficiais ou subterrâneas através de pequenas e médias galerias, e todos os elementos do projeto para que o mesmo ocorra de forma satisfatória.

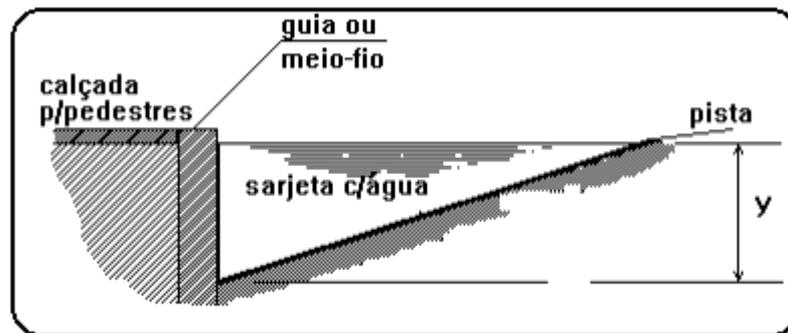
Para Tucci (2008) a microdrenagem é definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais a nível de loteamento ou de rede primária urbana. Este tipo de sistema de drenagem é projetado para atender à drenagem de precipitações com risco moderado.

6.2 Elementos constituintes

De acordo com CEAP (2014), um sistema de microdrenagem é composto de uma série de unidades e dispositivos hidráulicos para os quais existe uma terminologia própria e cujos elementos mais frequentes são:

- Sarjeta: é o canal longitudinal, em geral triangular, localizado entre a pista de rolamento e a guia da calçada, destinado a coletar e conduzir as águas de escoamento superficial até os devidos pontos de captação (FIG. 8);

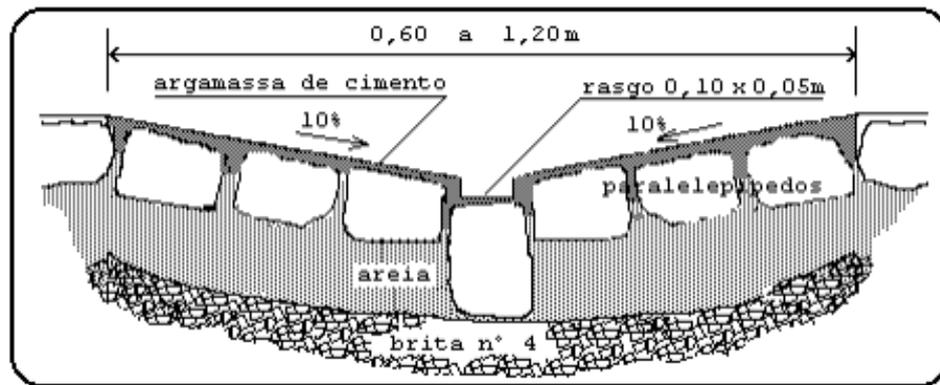
Figura 8 - Sarjeta



Fonte: CEAP (2014)

- Sarjetões: são os canais de seção triangular situados nos pontos baixos ou nos encontros dos leitos viários das vias públicas, destinados a conectar sarjetas ou encaminhar efluentes destas para os pontos de coleta (FIG 9);

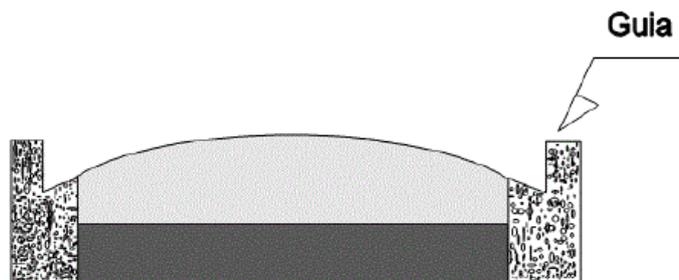
Figura 9 - Sarjetões



Fonte: CEAP (2014a)

- Greide: é uma linha do perfil que corresponde ao eixo longitudinal da superfície livre da via pública;
- Guia: também conhecida como meio-fio, é a faixa longitudinal que separa o passeio do leito da pista de rolamento, constituindo-se geralmente de peças de granito argamassadas (FIG 10);

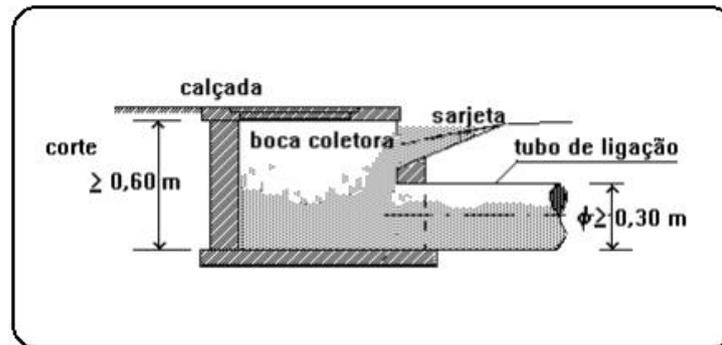
Figura 10 - Guia



Fonte: DYNACAL (2017)

- Bocas coletoras: popularmente denominadas de bocas de lobo, são estruturas hidráulicas para captação das águas superficiais transportadas pelas sarjetas e sarjetões. Em sua maioria, situam-se sob o passeio ou sob a sarjeta (FIG 11);

Figura 11 - Boca Coletora



Fonte: CEAP (2014a)

- Condutos de ligação: também denominados de tubulações de ligação, são destinados ao transporte da água coletada nas bocas coletoras até às galerias pluviais;
- Galerias: são condutos destinados ao transporte das águas captadas nas bocas coletoras até os pontos de lançamento. Tecnicamente denominada de galerias tendo em vista serem instaladas com diâmetro mínimo de 400 mm (FIG 12);

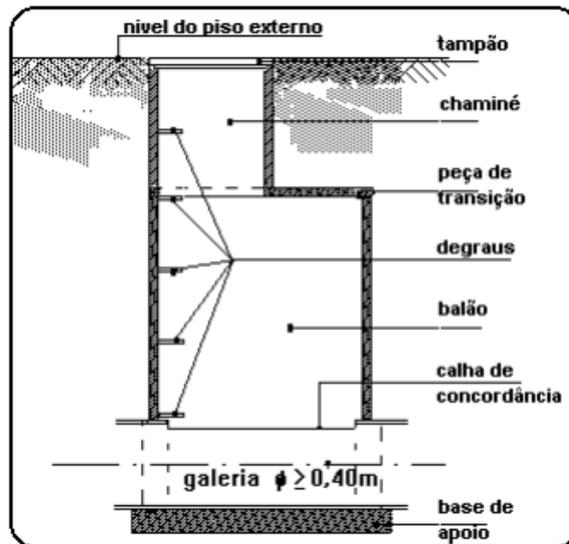
Figura 12 - Galerias



Fonte: VOGELSENGER (2017)

- Poços de visita: são câmaras visitáveis situadas em pontos previamente determinados, destinadas a permitir a limpeza e inspeção dos condutos subterrâneos (FIG 13);

Figura 13 - Poços de visita



Fonte: CEPA (2014a)

- Caixas de ligação: são caixas de alvenaria subterrâneas não visitáveis, com finalidade de agrupar condutos de ligação ou estes à galeria (FIG 14);

Figura 14 - Caixa de ligação



Fonte: JTB (2017)

- Trecho de galeria: é a parte da rede situada entre dois poços de visita em sequência.

6.3 Macrodrenagem

Macrodrenagem é um conjunto de obras que visam melhorar as condições de escoamento de forma a diminuir os problemas de erosões, assoreamento e inundações ao longo dos principais talwegues da bacia. Ela é responsável pelo escoamento final das águas, a qual pode ser formada por canais naturais ou artificiais, galerias de grandes dimensões e estruturas auxiliares. A macrodrenagem de uma zona urbana corresponde à rede de drenagem natural pré-existente nos terrenos antes da ocupação, sendo composta por igarapés, córregos, riachos e rios localizados nos talwegues e valas (FUNASA, 2004).

O controle do impacto do aumento do escoamento devido à urbanização, na macrodrenagem, tem sido realizado, na realidade brasileira, por meio de canalizações. O canal é dimensionado para escoar uma vazão de projeto para tempos de retorno que variam de 10 a 100 anos. Para evitar as inundações somente com drenagem a cidade toda deveria ter seus condutos ampliados para a urbanização de toda a bacia, o que seria economicamente inviável. A solução de controle numa bacia urbana envolve a combinação de medidas distribuídas, mas principalmente a combinação do aumento de capacidade com o amortecimento (TUCCI, 2008).

6.4 Elementos constituintes

Apesar de independentes, as obras de macrodrenagem mantêm um estreito relacionamento com o sistema de drenagem urbano, devendo portanto serem projetadas conjuntamente para uma determinada área (FUNASA, 2004). As obras de macrodrenagem consistem em:

- a) Retificação e/ou ampliação das seções de cursos naturais (FIG. 15);

Figura 15 - Retificação de Cursos d'água



Fonte: Prefeitura de Porto Alegre (2013)

b) Construção de canais artificiais ou galerias de grandes dimensões (FIG 16)

Figura 16 - Canais artificiais



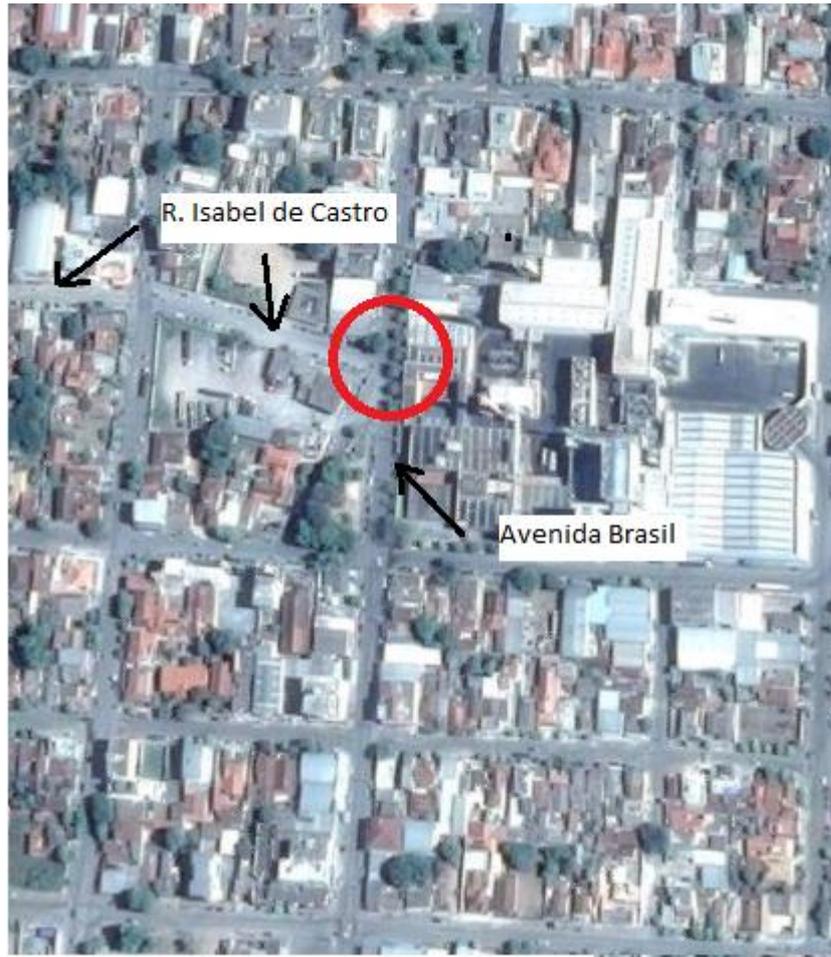
Fonte: Jefferson Parish (2008)

- c) Estruturas auxiliares para proteção contra erosões e assoreamento, travessias (obras de arte) e estações de bombeamento;

7 MATERIAL E MÉTODOS

Foi dimensionado um sistema de drenagem de uma área comercial no bairro Centro do município de Lagoa da Prata – MG, com o objetivo de sanar os problemas de inundações nas localidades assinaladas na FIG. 17.

Figura 17 - Áreas de inundações críticas no Centro de Lagoa da Prata - MG



Fonte: Google Earth (2017)

A vazão de escoamento superficial drenada foi lançada no córrego encontrado no final da rua Isabel de Castro, como apresentado nas FIG. 18, onde se encontra o talvegue da bacia.

Figura 18 - Representação da Rua Isabel de Castro



Fonte: Google Earth (2017)

7.1 Representação das bacias de contribuição

Inicialmente foi realizada a demarcação das áreas das bacias de contribuição a partir de mapas topográficos da cidade de Lagoa da Prata - MG, traçando as linhas de contorno da mesma, a partir das curvas de níveis já apresentadas no mapa como é mostrado no Anexo A. Adicionalmente, será representada a direção do escoamento das águas pluviais.

Após este processo, a área de cada bacia de contribuição foi calculada a partir de um software de desenho assistido por computador, uma vez que os mapas topográficos se encontram digitalizados.

7.2 Cálculo das declividades médias das bacias

Para a determinação das declividades médias das bacias de contribuição, foi necessário dividi-las em três seções longitudinais. Por meio das curvas em nível, em cada seção serão obtidos os valores das cotas máximas e mínimas, e, conseqüentemente, o desnível da seção. Após determinar a diferença de cotas, foi obtido o comprimento da seção e por fim, definido a declividade média em cada uma delas. Reconhecendo que a diferença de nível da bacia não é uniforme, foi feita a média aritmética entre as três declividades obtidas, e, assim, definindo a declividade média entre elas.

7.3 Escolha do período de retorno

O local em estudo se trata de uma área comercial no centro do município, onde é intenso o tráfego de veículos e de pessoas. Sendo assim, a partir da TAB 1., foi determinado o tempo de retorno para a obra de drenagem a ser dimensionada.

7.4 Cálculo do tempo de concentração

O Tempo de concentração foi calculado através da fórmula de Kirpich, representada pela Equação 3, a qual é usual para bacias com área menores que 0,5 km² e com declividades entre 3 e 10%.

$$tc = 3,989 \times \frac{L^{0,770}}{S^{0,385}} \quad (3)$$

em que:

Tc - Tempo de concentração (minutos);

L - Comprimento da bacia (km); e

S - Declividade da bacia (km/m)

7.5 Cálculo da intensidade de precipitação

A fórmula da intensidade de precipitação foi modelada a partir da Equação 2, de acordo com os coeficientes K, a, b e c, obtidos por meio das curvas de intensidade, duração e frequência do local em estudo. Para a equação de chuvas intensas do município em estudo, foram usados parâmetros propostos por Pinto et. Al. (2014), que são: K = 885,339; a = 0,139; b = 9,788 e c = 0,724.

Para projetos de drenagem urbana, admite-se que o tempo de duração da chuva é igual ao tempo de concentração da bacia.

7.6 Cálculo do deflúvio superficial direto

O deflúvio superficial direto, ou vazão de projeto, foi calculada através do Método Racional, representado pela Equação 4:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3,6} \quad (4)$$

em que:

Q - Vazão superficial máxima (m³/s)

C - Coeficiente de deflúvio;

I - Intensidade de precipitação (mm/h); e

A - Área da bacia de contribuição (km²).

Para a determinação do coeficiente de deflúvio C, foi necessário analisar o tipo de revestimento da superfície, sua declividade e a área de toda a bacia hidrográfica. Após ser observado tais características, foram usadas as TAB. 3, TAB. 4 e TAB. 5 para a escolha dos coeficientes propostos para a situação da bacia.

Tabela 3 - Coeficientes C para áreas urbanas

Superfície	Coeficiente "C"	
	Intervalo	Valor esperado
Pavimento		
Asfalto	0,70 – 0,95	0,83
Concreto	0,80 – 0,95	0,88
Calçadas	0,75 – 0,95	0,80
Telhado	0,75 – 0,95	0,85
Cobertura: grama solo arenoso		
Plano (2%)	0,05 – 0,10	0,08
Médio (2 a 7%)	0,10 – 0,15	0,13
Alta (7%)	0,15 – 0,20	0,18
Grama, solo pesado		
Plano (2%)	0,13 – 0,17	0,15
Médio (2 a 7%)	0,18 – 0,22	0,20
Declividade alta (7%)	0,25 – 0,35	0,30

Fonte: ASCE (1969)

Tabela 4 - Coeficientes C para áreas Urbanas

Zonas	C
Edificação muito densa:	
Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 – 0,95
Edificação não muito densa:	
Partes adjacentes ao centro, de menos densidade e habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 – 0,70
Edificações com poucas superfícies livres:	
Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas	0,50 – 0,60
Edificações com muitas superfícies livres:	
Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas	0,25 – 0,50
Subúrbios com alguma edificação:	
Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de Construção	0,10 – 0,25
Matas, parques e campos de esportes:	
Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte sem pavimentação	0,05 – 0,20

Fonte: Wilken (1978)

Tabela 5 - Coeficiente de deflúvio “C” de acordo com o revestimento da superfície.

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 < 2%	0,05 a 0,10
2% < I < 7%	0,10 a 0,15
I > 7%	0,15 a 0,20
2) solos pesados	
I < 2%	0,15 a 0,20
2% < I < 7%	0,20 a 0,25
I > 7%	0,25 a 0,30

Fonte: UFGC (2014b)

Após analisar cada tabela, e escolher os coeficientes de acordo com as características da bacia, os mesmos foram utilizados na Equação 4, para ser obtido um único valor de C.

$$C = \frac{(A1 \times C1 + A2 \times C2 + An \times Cn)}{(A1 + A2 + An)} \quad (4)$$

Levando em consideração o comportamento natural da bacia, é de se esperar que o coeficiente varie com o tempo de retorno ou com a magnitude da enchente, pois com o crescimento da intensidade, as perdas não permanecem as mesmas e o coeficiente deverá sofrer um aumento (TUCCI, 1993). Considerando essa variação, foi utilizado um multiplicador para o valor de C de acordo com o tempo de retorno, demonstrado na TAB. 6.

Tabela 6 - Fator de correção de C

Tempo de Retorno (anos)	Cf
2 a 10	1,00
25	1,10
50	1,20
100	1,25

Fonte: TUCCI (1993)

7.7 Microdrenagem

Por meio de critérios usuais de drenagem urbana, foram estudados diversos traçados da rede de galerias, considerando os dados topográficos existentes, o pré-dimensionamento hidrológico e hidráulico. Nesta etapa, foram dimensionadas as estruturas das sarjetas, bocas coletoras, galerias e poços de visitas.

7.7.1 Dimensionamento de sarjetas

Para o cálculo da vazão máxima teórica suportada pela sarjeta, foi utilizada a equação:

$$Q_o = 0,375 \times \sqrt{i} \times \frac{z}{n} \times Y_o^{\frac{8}{3}} \quad (5)$$

em que:

Q_o - Vazão máxima teórica suportada pela sarjeta (m³/s);

i - Declividade longitudinal (m/m);

z - Inverso da declividade transversal (1/t);

n - Coeficiente de rugosidade de Manning; e

y_o - Lâmina máxima de escoamento (m).

Foi considerada uma lâmina máxima de escoamento de 10cm, considerando meio-fio de 15cm.

Feito isto, foi calculada a vazão máxima admissível pela sarjeta, aplicando um fator de correção à vazão máxima teórica que foi obtida, com o uso da Equação 6.

$$Q_{adm} = Q_o \times F \quad (6)$$

em que:

Q_{adm} - Vazão admissível suportada pela sarjeta, em m^3/s ;

Q_o - Vazão máxima teórica suportada pela sarjeta, em m^3/s ;

F – Fator de redução (TAB 7.)

Tabela 7 - Fatores de redução de escoamento de sarjetas

Declividade Da sarjeta (%)	Fator de Redução
0 a 1	0,90
1 a 3	0,80
5,0	0,50
6,0	0,40
8,0	0,27
10,0	0,20

Fonte: DAEE/CETESB (1980)

Para o cálculo da extensão do espelho d'água na sarjeta foi utilizada como base a Equação 7, para a obtenção da área de um triângulo:

$$A = \frac{w \times y}{2} \quad (7)$$

em que:

A - Área da seção transversal da sarjeta (m^2);

w - Largura do espelho d'água (m); e

y – Altura da lâmina d'água máxima recomendada (m).

Por fim, foi estipulada a velocidade de escoamento da água na sarjeta, por meio da Equação 8, denominada como equação da continuidade.

$$Q = V \times A \quad (8)$$

em que:

Q - Deflúvio superficial direto (m³/s);

V - Velocidade de escoamento da água na sarjeta (m/s); e

A - Área da seção molhada transversal da sarjeta (m²).

7.7.2 Dimensionamento de bocas coletoras

As bocas coletoras foram consideradas vertedores e a capacidade de engolimento será estabelecida pela Equação 9.

$$Q = 1,7 \times L \times y^{\frac{3}{2}} \quad (9)$$

em que:

Q - Vazão de engolimento (m³/s);

Y - Altura de água próximo à abertura na guia (m); e

L - Comprimento da soleira em (m).

Em ocasiões em que a altura da água sobre o local for maior do que o dobro da abertura na guia a vazão foi calculada com o uso Equação 10.

$$Q = 3,101 \times L \times h^{\frac{3}{2}} \times \left(\frac{y_l}{h}\right)^{0,5} \quad (10)$$

em que:

L - Comprimento da abertura (m)

H - Altura da guia (m); e

Yl - Carga da abertura da guia (m);

Para o dimensionamento da boca coletora gradeada, foram fixados previamente valores convenientes para a largura e profundidade da grelha, de maneira que fosse possível o encontro do perímetro da área com abertura. Com o perímetro determinado, foi calculada a vazão pelo uso Equação 11.

$$Q = 1,7 \times P \times y^{\frac{3}{2}} \quad (11)$$

em que:

Q - Vazão de engolimento (m³/s);

Y - Altura de água próximo à abertura na guia (m); e

P - Perímetro do orifício (m).

7.7.3 Galerias

Basicamente, nesse dimensionamento foi definido um diâmetro de galeria capaz de receber a vazão proveniente das bocas coletoras e transportá-la com segurança até o sistema de macrodrenagem, obedecendo os critérios de inclinação e velocidade. Para a determinação do diâmetro das galerias foi utilizada a Equação 12, obtida pela associação das equações da continuidade e de Manning, para canais de seções circulares.

$$D = 1,55 \times \left(Q \frac{n}{S^{0,5}} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (12)$$

em que:

D - Diâmetro de tubulação da galeria, em m;

Q - Vazão de projeto, em m³/s;

n - Coeficiente de rugosidade de Manning (tabela da pág. 7);

S - Declividade longitudinal da tubulação em m/m.

As galerias pluviais são projetadas para funcionamento à seção plena para a vazão de projeto. A velocidade máxima admissível é correlacionada ao tipo de material a ser empregado na rede, (TUCCI, 1993). Foram utilizadas manilhas de concreto, cuja velocidade máxima admissível é de 5,0 m/s.

7.7.4 Poços de visita

Os poços de visitas que dão acesso às caixas de ligação, serão locados de acordo com os pontos de mudanças de direção, cruzamento de ruas, onde há o encontro de vários coletores, mudanças de diâmetro das galerias e mudanças de declividades. As distâncias entre um poço de visita e outro serão admitidas de acordo com a TAB 8.

Tabela 8 - Espaçamentos dos poços de visita

Diâmetro ou altura do conduto (m)	Espaçamento (m)
0,30	120
0,50 – 0,90	150
1,00 ou mais	180

Fonte: Tucci (1993)

8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

8.1 Determinação das vazões de escoamento bacias

As vazões de escoamento superficial para a área de inundação crítica estudada, na área central do município de Lagoa da Prata-MG, é mostrada na TAB. 9.

Tabela 9 - Determinação do deflúvio superficial das bacias hidrográficas constituintes da área de estudo, no município de Lagoa da Prata - MG

Sub Bacia	Declividade (m/km)	Tempo de Concentração (min)	Coefficiente de deflúvio (C)	Intensidade máxima de precipitação (mm/h)	Área total (km ²)	Deflúvio superficial (m ³ /s)
1	16,51	0,12	0,79	210,48	0,0004	0,019
2	16,98	0,12	0,79	210,50	0,0004	0,019
3	11,95	0,09	0,79	210,93	0,0011	0,052
4	7,92	0,14	0,79	210,21	0,0004	0,017
5	7,92	0,14	0,79	210,21	0,0003	0,014
6	6,76	0,15	0,79	209,98	0,0003	0,015
7	6,76	0,15	0,79	209,98	0,0003	0,015
8	26,29	0,07	0,79	211,23	0,0005	0,025
9	19,08	0,05	0,79	211,61	0,0005	0,025
10	22,72	0,06	0,79	211,41	0,0010	0,046
11	23,80	0,06	0,79	211,46	0,0011	0,049
12	38,07	0,05	0,79	211,54	0,0010	0,047
13	49,96	0,04	0,79	211,65	0,0010	0,047
14	101,46	0,03	0,79	211,79	0,0010	0,048
15	47,89	0,05	0,79	211,61	0,0010	0,047
16	47,29	0,05	0,79	211,60	0,0011	0,053
17	46,70	0,05	0,79	211,59	0,0011	0,052
18	46,12	0,05	0,79	211,58	0,0012	0,054
19	27,36	0,06	0,79	211,41	0,0011	0,052
20	133,97	0,03	0,79	211,82	0,0011	0,051
21	61,74	0,02	0,79	211,97	0,0005	0,025
22	89,68	0,03	0,79	211,78	0,0006	0,028
23	36,52	0,07	0,79	211,28	0,0002	0,011
24	36,52	0,07	0,79	211,28	0,0002	0,010
25	44,23	0,08	0,79	211,15	0,0004	0,017
26	65,17	0,05	0,79	211,61	0,0007	0,032
27	42,82	0,05	0,79	211,58	0,0011	0,051
28	45,95	0,05	0,79	211,57	0,0012	0,056
29	33,76	0,04	0,79	211,72	0,0008	0,036
30	46,10	0,04	0,79	211,67	0,0004	0,021

31	18,30	0,10	0,79	210,74	0,0003	0,012
32	14,17	0,11	0,79	210,60	0,0003	0,016
33	11,86	0,09	0,79	210,91	0,0001	0,006
34	33,31	0,05	0,79	211,59	0,0004	0,020
35	39,19	0,05	0,79	211,57	0,0009	0,041
36	39,19	0,05	0,79	211,57	0,0012	0,056
37	31,29	0,11	0,79	210,58	0,0006	0,030
38	31,29	0,11	0,79	210,58	0,0008	0,036
39	44,30	0,10	0,79	210,82	0,0011	0,049
40	44,30	0,10	0,79	210,82	0,0009	0,044
41	89,26	0,04	0,79	211,75	0,0003	0,014
42	89,26	0,04	0,79	211,75	0,0002	0,010
43	89,26	0,04	0,79	211,75	0,0002	0,010
44	82,20	0,04	0,79	211,78	0,0007	0,034
46	108,06	0,04	0,79	211,76	0,0010	0,049
47	92,03	0,04	0,79	211,65	0,0015	0,072
48	26,75	0,15	0,79	210,05	0,0012	0,057
49	39,97	0,07	0,79	211,25	0,0005	0,024
50	47,17	0,07	0,79	211,23	0,0005	0,024
51	40,21	0,10	0,79	210,84	0,0005	0,024
52	43,22	0,09	0,79	210,88	0,0002	0,011
53	43,22	0,09	0,79	210,88	0,0004	0,017
54	38,20	0,10	0,79	210,81	0,0006	0,027
55	60,13	0,05	0,79	211,58	0,0016	0,075
56	76,08	0,04	0,79	211,64	0,0016	0,074
57	68,89	0,05	0,79	211,58	0,0016	0,074
58	39,34	0,06	0,79	211,43	0,0015	0,070
59	37,36	0,05	0,79	211,52	0,0007	0,034
60	14,86	0,11	0,79	210,59	0,0002	0,011
61	14,86	0,11	0,79	210,59	0,0002	0,011
62	62,55	0,06	0,79	211,33	0,0004	0,020
63	62,55	0,06	0,79	211,33	0,0005	0,022
64	12,83	0,54	0,79	204,20	0,0005	0,023
65	184,29	0,01	0,79	212,15	0,0002	0,010
66	113,30	0,02	0,79	212,00	0,0002	0,009
67	113,30	0,02	0,79	212,00	0,0002	0,008
68	113,30	0,02	0,79	212,00	0,0002	0,012
69	12,83	0,54	0,79	204,20	0,0004	0,017
70	44,23	0,08	0,79	211,15	0,0004	0,016
71	22,03	0,08	0,79	211,07	0,0002	0,009
72	26,75	0,15	0,79	210,05	0,0007	0,032

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Conforme foi apresentado, as declividades apresentam valor médio de 4%, sendo que as maiores foram encontradas em bacias com áreas menores.

A partir da análise dos resultados, tem-se tempo de concentração é inversamente proporcional à declividade, ou seja, quando a declividade é muito alta, o tempo de concentração é baixo (menor $t_c = 0,01\text{min}$), assim, o tempo gasto para água precipitada no ponto mais distante da bacia chegar ao fundo do vale é menor e conseqüente mente a intensidade máxima de precipitação é maior, quando que na situação da declividade ser baixa, o tempo de concentração é maior (maior $t_c = 0,54\text{ min}$) e assim temos uma queda nos valores de intensidade máxima de precipitação.

O coeficiente de deflúvio foi determinado a partir das características da bacia como um todo. Após analisado o ambiente do local, foi estimado que 80% da bacia era composta por partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentada e os outros 20% por partes adjacentes ao centro, de menos densidade e habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas.

As vazões de escoamento superficial encontradas são pequenas, estando compreendidas de 6 a 74 l/s. A partir das mesmas foi feito o dimensionamento das estruturas que serão encarregadas de captar e levar as águas pluviais ao seu destino final.

8.2 Sistemas de microdrenagem

8.2.1 Velocidade de escoamento do deflúvio para nas sarjetas

As velocidades de escoamento encontradas variaram entre 1,5 à 3,0 m/s, como apresentado na TAB. 10.

Tabela 10 – Levantamento das velocidades de escoamento do deflúvio para cada rua

Rua	Declividade (m/m)	Vazão Máxima Teórica (m ³ /s)	Vazão Máxima Admissível (m ³ /s)	Área Lamina d'água (m ²)	Velocidade de escoamento do deflúvio (m/s)
R 1	0,016	0,051	0,046	0,03	1,527
R 2	0,050	0,090	0,081	0,03	2,710
R 3	0,050	0,090	0,081	0,03	2,710
R 4	0,016	0,051	0,046	0,03	1,527
R 5	0,046	0,087	0,078	0,03	2,607
R 6	0,050	0,090	0,081	0,03	2,710
R 7	0,058	0,098	0,088	0,03	2,927
R 8	0,063	0,101	0,091	0,03	3,033
R 9	0,050	0,090	0,081	0,03	2,710
R 10	0,050	0,090	0,081	0,03	2,710
R 11	0,050	0,090	0,081	0,03	2,710
R 12	0,030	0,070	0,063	0,03	2,110
R 13	0,050	0,090	0,081	0,03	2,710
R 14	0,050	0,090	0,081	0,03	2,710

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Nas ruas 7 e 8 foram encontrados os maiores valores de velocidade para a água escoada nas sarjetas (2,92 e 3,0 respectivamente). Segundo Tomaz (2005), a alta velocidade e a altura elevada da água escoada na sarjeta levam riscos para veículos, pessoas adultas e crianças. As pessoas podem escorregar e serem levadas pelas enxurradas causando danos físicos inclusive a própria perda da vida do pedestre.

8.2.2 Bocas coletoras

As bocas coletoras foram escolhidas a partir de modelos padrões (Guia padrão $h=0,15\text{m}$; $L= 1,0\text{ m}$; Grelha padrão $a=0,87\text{ m}$; $b= 0,29\text{ m}$). A partir das dimensões do modelo usual, foi verificada a capacidade de engolimento de cada uma das estruturas, tanto do tipo guia, com capacidade de captação de 54 l/s, quanto do tipo grelha, podendo captar 78 l/s, e foi feita a somatória das duas vazões para se ter o total captado na situação das duas estruturas trabalhando de forma combinada, captando assim 132 l/s.

Foi feito a somatória das vazões das bacias de forma a se obter uma vazão menor ou igual a 132 l/s, onde o valor chegou nesse limite, foi adicionado uma boca coletora combinada.

8.2.3 Galerias pluviais

A estrutura foi dimensionada a partir das vazões admissíveis pela sarjeta de cada trecho por onde passa a tubulação para se ter uma margem de segurança, como é apresentado na TAB. 11.

Tabela 11 – Dimensionamento das tubulações das Galerias

Trecho	Vazão a ser captada (m ³ /s)	Coefficiente K	Diâmetro da tubulação (m)
R 5	0,078	0,02	0,39
R 6	0,081	0,02	0,45
R 7	0,088	0,02	0,40
R 8	0,091	0,02	0,41
R 9	0,081	0,02	0,39
R 10	0,081	0,02	0,39
R 12	0,063	0,02	0,38

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

No trecho 6, por ser o trecho de tubulação que irá receber todas as vazões, foi admitida uma tubulação de 500 mm, e também nos trechos 5 e 7 serão utilizadas manilhas com este mesmo diâmetro, por se tratar de trechos que irão receber uma quantidade maior de vazão, assim priorizando a segurança. Nos demais trechos, podem ser utilizadas tubulações de 400 mm de diâmetro.

8.3 Deságue das vazões

As águas captadas pelas bocas coletoras e posteriormente conduzidas pelas galerias serão levadas até o córrego mais próximo, o qual foi feito sob a forma de canal, propriamente para receber águas pluviais, localizado no final da Rua Isabel de Castro, à aproximadamente 550m do início da tubulação, onde o mesmo transportará as águas até um riacho nas proximidades da cidade.

8.4 Comparativos entre dimensionamento executado e estrutura atual em funcionamento

Atualmente, existem no ponto de intercessão das ruas, no talvegue da bacia, duas bocas coletoras, uma do tipo guia e uma do tipo grelha. A boca coletora do tipo guia de dimensões 1m x 0,13m, com capacidade de captação de 54 l/s, se encontra do no ponto de encontro da Av. Brasil com a Rua Isabel de Castro como é apresentado na FIG. 19.

Figura 19 – Boca coletora do tipo guia encontrada no local de análise



Fonte: Google Earth (2017)

A Boca coletora do tipo grelha de dimensões 3,5m x 1,5m, com capacidade de captação de 350 l/s, se encontra do outro lado da rua, no ponto de intercessão das Ruas Praça Chico Silveira e Isabel de Castro, como é apresentado na FIG. 20.

Figura 20 – Boca coletora do tipo grelha encontrada no local de análise



Fonte: Google Earth (2017)

A partir do somatório das capacidades de engolimento das bocas coletoras encontradas atualmente no local de análise, foi obtido um valor total de vazão 402 l/s, o que não é suficiente para captar todo o deflúvio gerado em dias de chuva intensa, dado que toda a água gerada na precipitação, escoar até o talvegue para depois ser captada, e assim, conseqüentemente acaba gerando inundações, as quais levam tempo para serem sanadas pelas bocas coletoras.

Partindo destas informações, assim como é apresentado no Anexo B, foi elaborado um método de divisão de bocas coletoras para que as mesmas, de forma espalhadas umas das outras, captem o deflúvio escoado antes mesmo de chegar no talvegue principal, e assim corrigindo o problema com inundações.

9 CONCLUSÃO

A partir da definição dos limites das bacias de contribuição e posteriormente foram demarcados os sentidos dos escoamentos das águas pluviais e foi constatado que todos tinham como destino final o talvegue principal, onde antes era o foco principal do problema com inundações em chuvas intensas.

As vazões geradas pelas bacias respeitam os limites de escoamento nas sarjetas, estando todas dentro do limite máximo suportável pela estrutura, não gerando assim, problemas com altas velocidades de escoamento ou lâminas d'água mais altas do que as guias.

O sistema de drenagem proposto, de acordo com as condições hidrológicas propostas, é indicado como possível solução do problema de drenagem local.

Foi consolidada a importância de um sistema de drenagem para qualquer município, pois quando existem estruturas que dão fim às águas pluviais nos meios urbanos, a cidade só se beneficia, evitando prejuízos com novas obras, com danos ou perdas de bens da população, e conseqüentemente, é assegurada a qualidade de vida das pessoas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS – ASCE. **Design and Construction of sanitary and storm sewers**. New York (Manuals and Reports of Engineering Practice, 37). 1969.

BARBOSA JÚNIOR, A. R. **Elementos de hidrologia aplicada: previsão de enchentes**. 2014. Disponível em <http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodrigues/7_Previsao%20de%20Enchente.pdf>. Acesso em 08 de junho de 2014.

BAPTISTA, B. M. **Águas pluviais: técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas: guia do profissional em treinamento: nível 2 e 3 / Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.)**. – Belo Horizonte: ReCESA, 2007. 52 p.

BOTKIN, D e KELLER, E. **Environmental Science: Earth as a living planet**. 5ª ed. United States of America. Jhon Wiley & Sons, Inc, 2005.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CEAP. **Microdrenagem**. Disponível em <<http://www.ceap.br/material/MAT28052014140255.pd>>. Acesso em 30 de Março de 2017.

CHEVALLIER, P. **Projeto Potiribú: Dados Básicos de fluviometria e pluviometria. Recursos Hídricos**, n.26. Porto Alegre: IPH-UFRGS, 1993.

DAEE-Cetesb. 1980. **Drenagem urbana: manual de projeto**. DAEE/Cetesb, São Paulo, SP. 466p.

DRUMMOND, P. P. **Estudo da influência da reservação de águas pluviais em lotes no município de Belo Horizonte, MG: Avaliação hidráulica e hidrológica**. Belo Horizonte, MG. UFMG, 2012.

DYNACAL. **Coleta de amostras de solo**. Disponível em <<http://www.dynacal.com.br/coleta-de-amostras-de-solo.htm>>. Acesso em 27 de Março de 2017.

FUNASA. **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006

GOOGLE. **Google Earth**. Lagoa da Prata-MG. Acesso em 06 de março de 2017.

GRIBBIN, J. E. **Introdução à hidráulica e hidrologia na gestão de águas pluviais**. [tradução Glauco Peres Damas]. São Paulo : Cengage Learning, 2009.

JTB. **Construção de caixas de ligação**. Disponível em <<http://www.jtbterraplenagem.com.br/obras.html>>. Acesso em 4 de Abril de 2017.

MARTINS, J. R. S. **Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente?** Escola Politécnica, USP, 2012. Disponível em <http://www.dae.sp.gov.br/outorgatreinamento/Obras_Hidr%C3%A1ulic/gestaodrenagem.pdf>. Acesso em 30 de Março de 2017.

PIVETTA, M. **Ilha de calor na Amazônia.** Pesquisa FAPESP, v. 200, Out. 2012. Disponível em <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/10/11/ilha-de-calor-na-amazonia/>>. Acesso em 22 de março de 2017.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE. **Ações preventivas contra alagamentos.** Disponível em <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?psecao=113>>. Acesso em 30 de março de 2017.

RIGHETTO, A. M. **Manejo de Aguas Pluviais Urbanas.** Rio de Janeiro: ABES, 2009.

SANTOS, Márcio. Hidrologia escoamento superficial. 2013. Disponível em <<http://pt.slideshare.net/marciotecsona/hidrologia-escoamento-superficial-23627791>>. Acesso em 20 de março de 2017.

SILVA, D. D e PRUSKI, F. F. **Gestão de Recursos Hídricos: Aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais.** 1ª edição. Brasília: Demetrius e Fernando, 2000.

TEIXEIRA, S. N. **Sistemas de drenagem urbana: estudo de caso para macrodrenagem do município de Arcos-MG.** UNIFOR, 2014.

TOMAZ, P. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais.** São Paulo: Navegar, 2002. 452 p.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis.** Navegar Editora, 2ª ed., 180p, São Paulo, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2. ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2000. 943 p.

TUNDISI, J. G. **Limnologia e gerenciamento integrado de recursos hídricos. Avanços conceituais e metodológicos: Ciência e Ambiente** 21. 9-20 pp. 2001

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas – Ministério das Cidades – Global Water Partnership - World Bank, Unesco, 2005.**

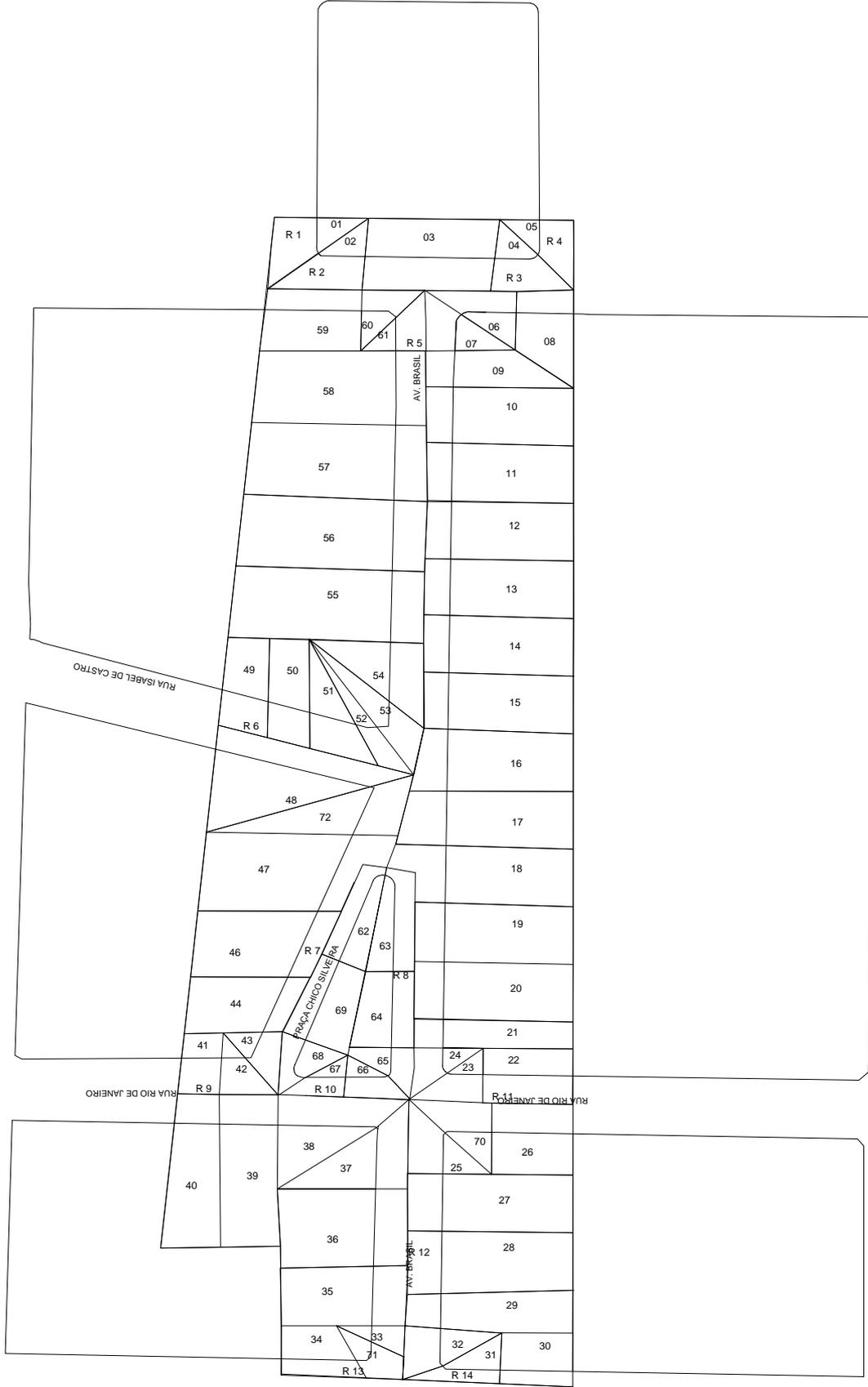
VIOLA, H. **Gestão de Águas Pluviais em Áreas Urbanas – O Estudo de Caso da Cidade do Samba [Rio de Janeiro] 2008 XIV, 384 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Planejamento Energético, 2008).**

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Editora da Universidade/UFRGS, ABRH. Porto Alegre, p. 952, 1993.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG. **Sistemas de drenagem pluvial.** 2014a. Disponível em <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Dren01.html>>. Acesso em 19 de maio de 2014.

VOGELSANGER. Execução de Drenagem Pluvial. Disponível em <<http://vogelsangerempreendimentos.com.br/site/servicos/drenagem/>>. Acesso em 4 de Abril de 2017.

ANEXO A



TÍTULO: CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE DRENAGEM URBANA EM
 ZONA COMERCIAL DO MUNICÍPIO DE LAGOA DA PRATA - MG

ORIENTADOR: THIAGO HENRIQUE ALMEIDA SILVA
 ORIENTADA: MICHAEL SILVEIRA THEBALDI

FOLHA: 01/02
 ESCALA: INDICADA

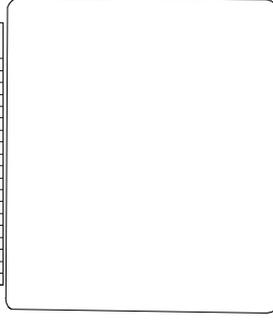
DATA: 18/10/2017

1 PLANTA TÉRREO
 ESCALA: 1:1000

ANEXO B

- Representação de modelos adotados para cada situação de boca coletora

Boca Coletora	Vazão suportada (m³/s)	Modelo de Boca coletora adotado
BC 1	0,111	Combinada
BC 2	0,095	Combinada
BC 3	0,096	Combinada
BC 4	0,096	2 grelhas logo depois tem uma Combinada
BC 5	0,168	Dupla com 2 grelhas e 1 guia na primeira grelha
BC 6	0,148	Dupla com 2 grelhas e 1 guia na primeira grelha
BC 7	0,103	Combinada
BC 8	0,209	Combinada Dupla
BC 9	0,163	Dupla com 2 grelhas e 1 guia na primeira grelha
BC 13	0,064	Combinada
BC 14	0,056	Combinada
BC 15	0,192	Combinada Dupla
BC 16	0,105	Combinada
BC 17	0,087	Apenas uma grelha na sarjeta
BC 18	0,130	Combinada
BC 19	0,034	Apenas uma grelha na sarjeta
BC 20	0,093	Combinada
BC 21	0,104	Combinada
BC 22	0,100	Combinada



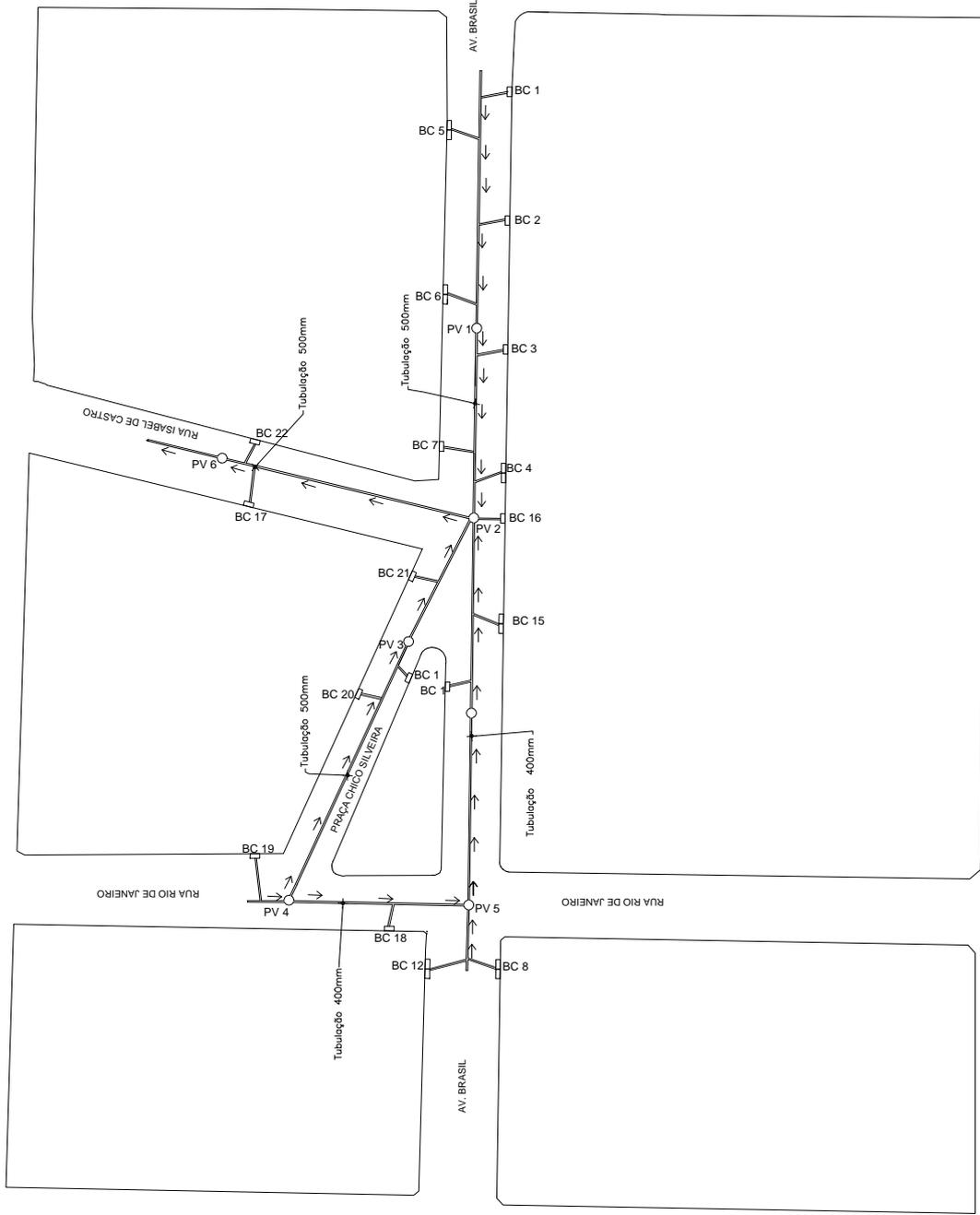
- Tubulação das galerias feitas de concreto ou argamassa de cimento com acabamento áspero

- Bocas coletoras Guia padrão h=0,15m; L= 1,0m

- Vazão suportada = 54 L/s

- Bocas coletoras Grelha padrão a=0,87m; b= 0,29m

- Vazão suportada = 78 L/s



1 PLANTA TÉRREO
ESCALA 1:1000

TÍTULO CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE DRENAGEM URBANA EM

ZONA COMERCIAL DO MUNICÍPIO DE LAGOA DA PRATA - MG

ORIENTADOR THIAGO HENRIQUE ALMEIDA SILVA

ORIENTADOR MICHAEL SILVEIRA THEBALDI

DATA 18/10/2017

FOLHA 02/02

REVISÃO INDICADA