



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

KARINE LIBANHIA MATIAS PINHEIRO

SISTEMA COMPENSATÓRIO DE DRENAGEM PLUVIAL:
AVALIAÇÃO A POSTERIORI DA EFICIÊNCIA DA BACIA DE
DETENÇÃO SANTA LÚCIA

BELO HORIZONTE

2018

KARINE LIBANHIA MATIAS PINHEIRO

SISTEMA COMPENSATÓRIO DE DRENAGEM PLUVIAL: AVALIAÇÃO A
POSTERIORI DA EFICIÊNCIA DA BACIA DE DETENÇÃO SANTA LÚCIA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais, como requisito
parcial à obtenção do título de Engenheira
Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Msc. Marcos Veloso de Menezes

BELO HORIZONTE,
2018

Pinheiro, Karine Libanhia Matias.

S---

Sistema Compensatório de Drenagem Pluvial: Avaliação a posteriori da Eficiência da Bacia de Detenção Santa Lúcia/ Karine Libanhia Matias Pinheiro.: 2018.

64 f.; -- cm.

Orientador: Prof. Msc. Marcos Veloso de Menezes.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2018.

1. Drenagem urbana. 2. Técnicas compensatórias. 3. Bacia de detenção. I. Pinheiro, Karine Libanhia Matias. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Sistema Compensatório de Drenagem Pluvial: Avaliação a posteriori da Eficiência da Bacia de Detenção Santa Lúcia.

CDD -----

KARINE LIBANHIA MATIAS PINHEIRO

SISTEMA COMPENSATÓRIO DE DRENAGEM PLUVIAL: AVALIAÇÃO A
POSTERIORI DA EFICIÊNCIA DA BACIA DE DETENÇÃO SANTA LÚCIA

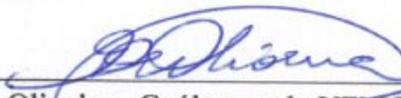
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas
Gerais, como requisito parcial à obtenção do título
de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Data de aprovação: 05/12/2018

Banca Examinadora:



Marcos Veloso de Menezes – Presidente da Banca Examinadora, Engenheiro Civil pela UFMG, Mestre em Engenharia Civil pelo CEFET-MG e Especialista em Saneamento e Meio Ambiente pela UFMG. Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Orientador.



Evandro Carrusca de Oliveira - Geólogo pela UFMG, Mestre em Engenharia Ambiental e Sanitária pela UFMG, Especialista em Marketing pela Escola de Governo da Fundação João Pinheiro, Especialista em Materiais Geológicos aplicados na Indústria pela UFMG e Doutor em Geotecnia pela UFOP. Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. /MG



Rafael Aredes Couto – Engenheiro Civil pela PUC Minas, Mestre em Engenharia de Estruturas pela UFMG. Professor da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais e Faculdade Pitágoras.

"Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui. Nunca desista de seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser a vitoriosa." Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

À minha amada família. Ao meu pai Maxwell e a minha mãe Erilda. Que nunca mediram esforços para que eu pudesse realizar meus sonhos. A minha linda irmã Natielly, por me encorajar em todos os momentos.

Ao meu querido Marcelo, por seu apoio incondicional e paciência.

Ao meu orientador, Prof. Marcos Veloso de Menezes, por sua atenção, disponibilidade e, principalmente, paciência enquanto esclarecia minhas dúvidas sobre este trabalho.

A todos os professores que contribuíram para minha formação. Agradeço por todo o conhecimento, dentro e fora de sala de aula, que me proporcionaram.

Agradeço aos membros da banca examinadora, pelo interesse e disponibilidade.

As queridas amigas que fiz nos anos de graduação, em especial a Victória, Rebeca, Guilherme, Luíza, Leticia, Lorraine, Ricardo, Yu Ju, Halle e Nathalia.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para o meu sucesso, meu futuro e o resultado final dessa pesquisa.

RESUMO

Pinheiro, Karine Libanhia Matias. *Diagnóstico das técnicas compensatórias de drenagem em Belo Horizonte: Estudo de caso da Barragem Santa Lúcia*. 2018. 65f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

As enchentes e inundações em áreas urbanas são uma realidade nas grandes cidades brasileiras durante os períodos de chuva. As obras de drenagem urbana surgiram para contornar os problemas das enchentes nos centros urbanos, sendo o sistema clássico de drenagem o mais utilizado. Na abordagem clássica os sistemas são projetados para que ocorra rápida evacuação das águas urbanas, transferindo o problema das enchentes para à jusante. Como alternativa para esses eventos, desenvolveram-se tecnologias para compensação do pulso de cheias provocadas pela impermeabilização das bacias urbanizadas, conhecidas como técnicas compensatórias de drenagem. São exemplos dessas técnicas as bacias de retenção, pavimentos porosos, trincheiras, poços de infiltração, telhados verdes, entre outros. A grande diversidade de técnicas e a falta de estudos sobre a eficiência das mesmas tornou complexa a tarefa dos gestores urbanos na concepção de sistemas de drenagem. Nesse sentido fica claro que o conhecimento dessas técnicas em sua tipologia, características e eficiência, permitirá que os gestores de sistemas de drenagem urbana fundamentem suas decisões a partir de sistemas implantados. Dessa forma, o presente trabalho realizou um diagnóstico das técnicas compensatórias de drenagem urbana em 16 capitais brasileiras, com ênfase na cidade de Belo Horizonte. A metodologia proposta foi aplicada a um estudo de caso referente a bacia de retenção Santa Lúcia.

Palavras-chave: Drenagem urbana, Técnicas compensatórias, Bacia de retenção.

ABSTRACT

Pinheiro, Karine Libanhia Matias. Diagnosis of compensation sales in Belo Horizonte: Case study of the Santa Lucia Dam. 2018. 65p. Undergraduate Thesis (Sanitation and Environmental Engineering degree) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

Floods in urban areas are a reality in large Brazilian cities during periods of rain. Urban drainage works have emerged to overcome the problems of flooding in urban centers, with the classic drainage system being the most used. In the classical approach, the systems are designed to rapidly evacuate urban water, transferring the problem from downstream to downstream. As an alternative to these events, technologies were developed to compensate flood pulse caused by the waterproofing of urbanized basins, known as compensatory drainage techniques. Examples of such techniques are detention basins, porous pavements, trenches, infiltration wells, green roofs, among others. The great diversity of techniques and the lack of studies on their efficiency have made complex the task of urban managers in the design of drainage systems. In this sense, it is clear that the knowledge of these techniques in their typology, characteristics and efficiency will allow managers of urban drainage systems to base their decisions on implanted systems. In this way, the present work carried out a diagnosis of the compensatory techniques of urban drainage in 16 Brazilian capitals, with emphasis in the city of Belo Horizonte. The proposed methodology was applied to a case study concerning the Santa Lucia detention basin.

Keywords: Urban drainage, Compensatory techniques, Basin of detention.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo Hidrológico	17
Figura 2 - Hidrograma de área urbanizada e não urbanizada	19
Figura 3 - Sistema unitário	21
Figura 4 - Sistema separador absoluto	21
Figura 5 - Esquema com dispositivos de microdrenagem	24
Figura 6 - Sistema de macrodrenagem	24
Figura 7 - Evolução do manejo de águas pluviais	26
Figura 8 - Técnicas compensatórias estruturais e não-estruturais	27
Figura 9 - Poço de infiltração	28
Figura 10 - Microreservatório domiciliar	29
Figura 11 - Telhado verde da Universidade de Nanyang, Singapura	30
Figura 12 - Fotos de técnicas compensatórias	30
Figura 13 - Técnica para controle centralizada	32
Figura 14 - Barragem Santa Lúcia	32
Figura 15 - Córrego Leitão retificado	34
Figura 16 - Córrego Leitão em 1949 e em 2016	35
Figura 17 - Mapa de localização da Bacia do Córrego Leitão	42
Figura 18 - Barragem Santa Lúcia (2018)	43
Figura 19 -Representação esquemática da bacia de detenção	44
Figura 20 -Canal de Emergência	44
Figura 21 -Vertedor de Vazão	44
Figura 22 -Vertedor Tulipa	45
Figura 23 -Escada hidráulica	45
Figura 24 -Bueiro	45
Figura 25 - Modelo Topológico da Bacia do Córrego Leitão	46
Figura 26 - Distribuição das tecnologias compensatórias em capitais	50
Figura 27 - Hidrograma na Sub-bacia do Santo Antônio	51
Figura 28 - Hidrograma logo a jusante da bacia de detenção	52
Figura 29 - Hietograma CN=83	53
Figura 30 - Hietograma CN=96	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Conceito de Canalização x Conceito de Reservação	23
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens das bacias de detenção	33
Tabela 3 -Grupos hidrológicos de Solo	38
Tabela 4 - Valores de CN para bacias urbanizadas	39
Tabela 5 -Respostas do questionário – Informações gerais	47
Tabela 6 - Respostas do questionário–Informações de técnicas compensatórias	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. JUSTIFICATIVA	12
3. OBJETIVOS	14
3.1 Objetivo Geral	14
3.2 Objetivos Específicos.....	14
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
4.1 A urbanização e o ciclo das águas.....	15
4.2 A Evolução da Drenagem urbana no Brasil.....	18
4.3 Sistemas de drenagem urbana.....	22
4.3.1 Sistema clássico ou convencional	22
4.3.2 Técnicas compensatórias de drenagem pluvial.....	23
4.3.2.1 Dispositivos das técnicas compensatórias para controle na fonte.....	26
4.3.2.2 Dispositivos das técnicas compensatórias lineares	28
4.3.2.3 Dispositivos das técnicas compensatórias controle centralizado.....	29
4.4 Drenagem urbana em Belo Horizonte	31
4.4.1 Legislação de drenagem urbana em Belo Horizonte.....	33
4.5 Modelagem Hidrológica	34
4.6 Simulação Hidrológica utilizando o Software ABC6	38
5. METODOLOGIA.....	39
5.1 Aplicação e consolidação das informações do questionário	39
5.2 Caracterização da bacia de retenção Santa Lúcia	40
5.3 Modelagem hidrológica com o auxílio do software ABC6win.....	43
6. RESULTADOS	44
6.1 Aplicação e consolidação dos resultados do questionário.....	44
6.2 Panorama das técnicas compensatórias no Brasil.....	47
6.3 Simulação hidrológica com ABC6	50
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
8. PROPOSTA DE CONTINUIDADE	54
REFERÊNCIAS	55
ANEXO I.....	65

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das cidades tem forte ligação com cursos de água. A trajetória humana retratada ao longo da história demonstra uma tendência na formação de agrupamentos humanos na proximidade dos cursos de água, visto que a disponibilidade de água permite o consumo, a produção de alimentos e deposição de dejetos. Esta proximidade, entretanto, impacta o ciclo hidrológico, pois as ações humanas provocam diversas alterações no meio ambiente, o que gera modificações na capacidade de infiltração dos solos, nas condições de evaporação, qualidade e disponibilidade das águas, o que torna necessária apresentar soluções que reduzam ou revertam os efeitos da degradação ambiental.

O Brasil passou por um rápido processo de urbanização. De acordo com informações do Censo IBGE, em 1960 cerca de 30% da população vivia nas cidades, em 50 anos essa porcentagem quase que triplicou, chegando a aproximadamente 85% da população vivendo em áreas urbanas no ano de 2010. A urbanização em sua estreita relação com as bacias hidrográficas e os recursos hídricos, provocam, dentre outros problemas de difícil solução, o aumento na intensidade e frequência nas enchentes e inundações, como resultado da redução das áreas permeáveis e ocupação das planícies de inundação.

De modo geral, o problema dos alagamentos, inundações e enchentes nos centros urbanos relaciona-se ao modelo de desenvolvimento urbano brasileiro, no qual, um dos maiores problemas é a impermeabilização do solo. A vegetação e o solo descoberto são substituídos por edifícios e trechos de avenidas e ruas pavimentadas, o que provoca a redução da capacidade de armazenamento natural de águas da chuva. Deste modo, as águas pluviais, que antes escoavam mais lentamente, interceptadas pela vegetação e armazenadas no solo, passam a escoar livremente nas superfícies impermeáveis, aumentando a vazão e a velocidade. Junto a isso, o sistema clássico de drenagem, muito expandido no país, feito por meio da canalização de trechos, favorece o rápido escoamento das águas pluviais de montante para

regiões à jusante, o que contribui para cheias em eventos hidrológicos extremos (TUCCI, 2015).

Diante de um cenário cada vez mais complexo das inundações urbanas, é necessário buscar soluções que não contemplem somente aumentos de condutos. A solução é desenvolver tecnologias que compensasse a modificação do hidrograma de descarga das bacias de drenagem. Diante desse cenário, foram implantadas bacias de retenção com intuito de impedir a propagação imediata dos pulsos de cheias nos cursos d'água urbanos. Paralelamente, desenvolveram-se tecnologias de transferências desses pulsos para o subsolo, promovendo, de alguma forma a recarga dos aquíferos livres. (COELHO; 2010) (ALMEIDA NETO; 2007) (BRITO; 2006).

Em diversos países, inclusive no Brasil, foram implantadas diversas unidades para o amortecimento dos picos de cheia e por consequência reduzir o risco de alagamentos, enchentes e inundações em áreas urbanas. Alguns desses dispositivos foram implantados como parte de medidas corretivas e outros foram parte integrante de projetos consolidados. O conhecimento dessas técnicas em sua tipologia, características e funcionamento, permitirá que os gestores de sistemas de drenagem urbana fundamentem suas decisões a partir de sistemas implantados.

Nesse contexto, o presente trabalho realizou levantamento nas capitais brasileiras da existência das técnicas compensatórias existentes, com ênfase na cidade de Belo Horizonte, onde, avaliou-se o desempenho no amortecimento de cheias da bacia de retenção Santa Lúcia, por meio da análise de aspectos técnicos e ambientais.

2. JUSTIFICATIVA

A visão de órgãos gestores de drenagem urbana tem se unido a de organismos ambientais que veem com restrições o emprego dos sistemas clássicos de drenagem. Esses sistemas acabam por criar avenidas sanitárias que alteram todo o regime de escoamento das águas urbanas, tanto superficiais quanto subterrâneas, aumentando o volume escoado superficialmente e reduzindo o volume escoado no aquífero livre. O processo de crescimento dos núcleos urbanos está acompanhado do aumento da área

impermeável no solo e conseqüente mudança no hidrograma do escoamento superficial. Por isso, é de amplo conhecimento a urgência de se adotar medidas que reduzam os efeitos da impermeabilização nas áreas de ocupação consolidada.

Em Belo Horizonte, apesar do plano diretor da cidade apresentar preocupação em relação a impermeabilização e aos impactos dela no sistema de drenagem, exigindo área de permeabilidade mínima nos terrenos e criando mecanismos de compensação às novas áreas impermeabilizadas, a cidade vem experimentando ao longo dos últimos anos os efeitos negativos da expansão urbana acelerada, que resulta, entre outras coisas, na ocorrência de inundações frequentes, com prejuízos econômicos, financeiros, ambientais e, principalmente, sociais. As medidas até então tomadas, ainda não são suficientes para restringir a vazão gerada pelas superfícies impermeáveis e a transferência das cheias resultantes do aumento da aceleração dos escoamentos. Por isso, é urgente a mudança desse paradigma com o emprego de novas tecnologias e técnicas alternativas para a drenagem pluvial das cidades.

A presença de técnicas compensatórias de drenagem pluvial é uma realidade nos principais centros urbanos no mundo e também nas cidades com gestão moderna dos sistemas de drenagem pluvial. No Brasil, diversos dispositivos já estão implantados, dentre eles pode-se citar reservatórios de detenção com ou sem infiltração, pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração. No entanto, a adoção dessas técnicas ainda encontra obstáculos devido à resistência dos gestores para a implantação, sobretudo pela falta de estudos que avaliem o desempenho dessas técnicas em comparação com as técnicas clássicas, que são amplamente conhecidas e testadas, além das dificuldades encontradas para adaptação dessas técnicas em ambientes com ocupação já consolidada (CAPUTO, 2012). Assim, o presente estudo sobre técnicas compensatórias de drenagem urbana em Belo Horizonte se justifica pela necessidade de melhoria do conhecimento sobre manejo de águas pluviais nas cidades e o aprimoramento das soluções tecnológicas de drenagem urbana através de técnicas compensatórias sustentáveis.

O desenvolvimento de método de análise que avalie a influência e a eficiência de amortecimento de cheias da bacia de detenção Santa Lucia, no

município de Belo Horizonte, associado a condições técnicas e ambientais, pode auxiliar em estudos futuros de planejamento e na tomada de decisão dos gestores públicos na escolha e melhora dos projetos e suas aplicações. Dessa forma, metodologias e procedimentos, como os propostos nesta pesquisa, são importantes para a avaliação dos benefícios das técnicas compensatórias de drenagem urbana, tanto para comprovar sua eficiência, como para subsidiar a comparação entre alternativas de projeto.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho de pesquisa é avaliar a eficácia da bacia de retenção Santa Lúcia, em Belo Horizonte, em relação ao amortecimento de eventos de cheia na bacia do córrego do Leitão, comparando diferentes cenários.

3.2 Objetivos Específicos

A fim de se atingir o objetivo geral foram estabelecidas as etapas a seguir apresentadas, com os seguintes objetivos específicos:

- Coletar dados e informações pertinentes sobre a área de estudo;
- Elaborar panorama da utilização de técnicas compensatórias no Brasil;
- Avaliar o desempenho da bacia de retenção Santa Lúcia no amortecimento de cheias, por meio da comparação entre um cenário hipotético sem a presença da bacia de retenção e o cenário atual.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 A urbanização e o ciclo das águas

A mudança do cenário natural das bacias hidrográficas ocorreu de forma gradativa em função das necessidades humanas para fixar sua moradia e locais de trabalho. Para essas ocupações não existiram preocupações ou cuidados com a manutenção da qualidade ambiental, bem como a qualidade de vida dos habitantes. No processo evolutivo das aglomerações urbanas dentro da falta de políticas públicas houve substancial redução de áreas verdes e, portanto, da área permeável do solo.

Agregada a falta de políticas públicas, surgem as ocupações indevidas de áreas livres, inclusive, áreas verdes e áreas de inundação dos corpos d'água. Segundo Frantz (2008), a maioria das cidades se desenvolveu a partir das margens de cursos d'água superficiais, favorecendo sensivelmente a ocupação e degradação das matas ciliares. Tal fato explica os problemas de enchentes e inundações, pois essa cultura implica em aproximação gradativa e contínua até se atingir as margens dos cursos d'água criando obstruções para o caminho natural das águas fluviais e pluviais. Essa situação denota uma modificação significativa no ciclo hidrológico representado pela Figura 1.

Figura 1: Ciclo Hidrológico



Fonte: Pereira (2015) apud U.S. Geological Survey

De acordo com Pereira (2015), os principais processos do ciclo hidrológico são: evaporação, evapotranspiração, precipitação, Interceptação, Infiltração, armazenamento e escoamento superficial. A água, por meio da evaporação e da evapotranspiração, atinge níveis da atmosfera em que se condensa, formando gotículas que ficam em suspensão na forma de nuvens. As pequenas gotas, sob certas condições de temperatura e pressão, se unem formando gotas maiores que se transformam em chuva. A chuva, quando em contato com a superfície terrestre, pode escoar superficialmente até chegar em cursos d'água ou infiltrar no solo promovendo a recarga dos lençóis freáticos.

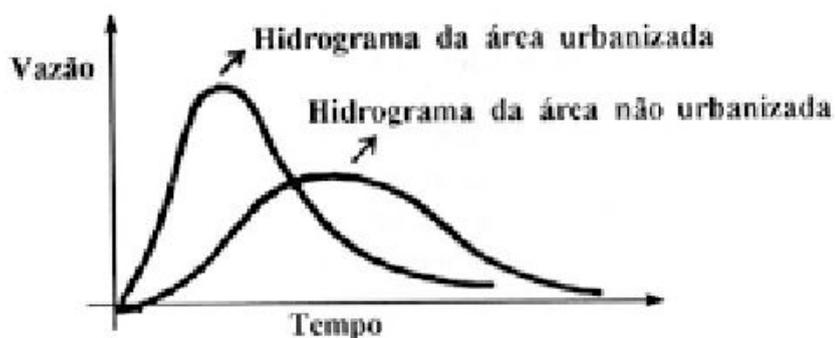
Conforme descrito por Gribbin (2012), a infiltração permite que os rios tenham vazão regular ao longo do ano, mesmo em épocas de estiagem, o que permite a continuidade do ciclo hidrológico. Em bacias com solo sem proteção vegetal ou impermeabilizadas, a infiltração das águas de chuva é menor e o escoamento superficial torna-se intenso, o que faz com que as águas de chuva atinjam rapidamente a calha dos rios, provocando inundações. E que, durante as fases de estiagem, os rios secam.

Muitos fatores podem contribuir para a variabilidade dos processos que compõem o ciclo hidrológico, destacando-se a cobertura vegetal do solo (PEREIRA apud TUCCI, 2015). Segundo Júnior & Santos (2013), o processo de urbanização, no qual ocorre a redução da cobertura vegetal e aumento da impermeabilização do solo, é determinante para possíveis alterações no ciclo hidrológico como as citadas a seguir:

- aumento da precipitação, pois as atividades humanas nas cidades produzem maior número de núcleos e condensação;
- diminuição da evapotranspiração, em decorrência da retirada da vegetação;
- diminuição da infiltração no solo devido à impermeabilização e compactação;
- aumento do volume de água do escoamento superficial em decorrência da diminuição da infiltração;
- maior erosão do solo e aumento do processo de assoreamento dos rios;
- aumento da ocorrência de enchentes;
- poluição das águas superficiais e subterrâneas.

A urbanização modifica o ciclo hidrológico e por consequência o hidrograma das bacias. De acordo com Vendrame, Alves e Scofield (2000), as alterações nas bacias, nas quais ocorrem a substituição de áreas verdes por áreas impermeáveis, tem como resultado a diminuição do volume de água que é infiltrado no solo, alterando o hidrograma de cheia da bacia. Essa alteração é responsável pela mudança no ciclo de cheias, aumentando o volume das águas superficiais e também reduzindo o tempo de percurso das águas precipitadas até alcançar os talvegues, fato esse provocado não apenas pelo cobrimento da superfície do solo, mas também pela implantação de estruturas de coleta e condução das águas pluviais. Essa alteração profunda no hidrograma de cheias é responsável pelo aumento nos deflúvios superficiais e por consequência o aumento das enchentes, tanto na extensão da área atingida quanto na frequência de ocorrências (CHERNICHARO e COSTA, 1995). O hidrograma hipotético comum a uma bacia natural e aquele resultante da urbanização são apresentados na Figura 2.

Figura 2: Hidrograma de área urbanizada e não urbanizada



Fonte: Tucci, 2015.

A urbanização das bacias provoca redução na área permeável do solo o que somado à redução do tempo de concentração, são ingredientes fundamentais para o processo do aumento do número de enchentes nessas regiões. Os efeitos principais da urbanização são o aumento da vazão máxima, a antecipação do pico e o aumento do volume superficial (TUCCI, 2015).

A fim de se obter a reversão deste quadro, faz-se necessário o cumprimento e modernização das leis de regulamentação de uso e ocupação do solo urbano. Dentre as ações necessárias, está a manutenção dos

meandros de cursos d'água, de matas ciliares, faixas de inundação e limitar a ocupação de áreas que impeçam o armazenamento natural da água. (SOUZA et al., 2014). Junto a isso é necessário pensar em tecnologias de drenagem urbana que neutralizem os efeitos da urbanização nos processos hidrológicos, de forma a permitir a preservação ambiental e a qualidade de vida da população.

Conforme descrito por Souza et al., (2014), os sistemas de drenagem urbana melhoram e protegem a saúde da população das cidades ao impedirem o acúmulo de águas e protegem a vida das pessoas em áreas urbanas ao controlar as enchentes. Os transtornos causados pelas inundações são evitados com a implantação de sistemas eficientes de coleta e condução das águas pluviais cujas dimensões devem ser compatíveis aos volumes precipitados.

Entretanto, existe a questão relacionada à dificuldade de implantação de mudanças, descritas por Souza et al., (2002), em áreas densamente urbanizadas. O que se denota no panorama mundial é o emprego de tecnologias alternativas, denominadas Técnicas Compensatórias de Drenagem Pluvial. Nessas técnicas busca-se alterar o hidrograma de descarga das bacias corrigindo-se as distorções causadas pela impermeabilização das bacias. A modificação no hidrograma ocorre através do retardo da onda de cheia em ações que como resultado reduzam as enchentes de uma região.

4.2 A Evolução da Drenagem urbana no Brasil

De acordo com Marques (1995), em 1863 o Brasil recebeu suas primeiras redes de canalização de drenagem e esgoto, que foram implantadas no estado do Rio de Janeiro. Contudo, a real preocupação com o sistema de drenagem ocorreu a partir de 1889, com proclamação da república, quando o país passou a ter uma série de reformas em seus padrões urbanísticos o que levou à consolidação do conceito higienista do saneamento básico. Os profissionais de saúde e de planejamento urbano, baseados em estudos que ligavam as doenças com o meio ambiente, sugeriam normas de comportamento e de organização das cidades, como a localização mais adequada para os equipamentos urbanos, regras para a construção de

habitações, hospitais, cemitérios e escolas (COSTA, 2013). Esse novo conceito provocou modificações nos espaços urbanos, pois dentre os objetivos do movimento “higienista” estava a ideia de livrar as cidades das águas nocivas, direcionando-as com a maior rapidez possível para o corpo hídrico receptor.

No Brasil, por orientação do engenheiro sanitário Saturnino de Brito, passou-se a adotar em 1912 o sistema separador absoluto em substituição ao sistema unitário (TSUTIYA, 2005). Diferente do sistema unitário, no qual águas residuais domésticas, industriais e pluviais são veiculados em um mesmo sistema, o sistema separador absoluto consistia na utilização de uma rede coletora exclusiva para a água da chuva e outra exclusiva para efluentes domésticos, isso fez com que redes de esgoto sanitário fossem projetadas para ser independentes das redes e drenagem pluvial e o uso comum das tubulações foi extinto, dessa forma estruturas de drenagem tornaram-se obrigatórias nos projetos de urbanização brasileiros.

Figura 3: Sistema unitário

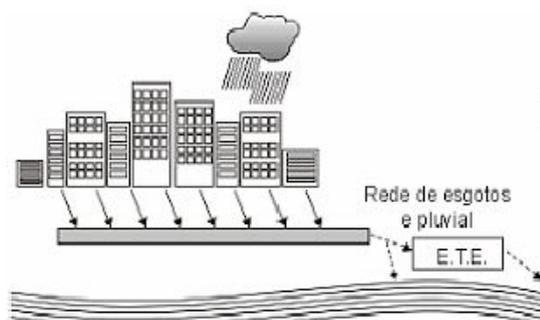
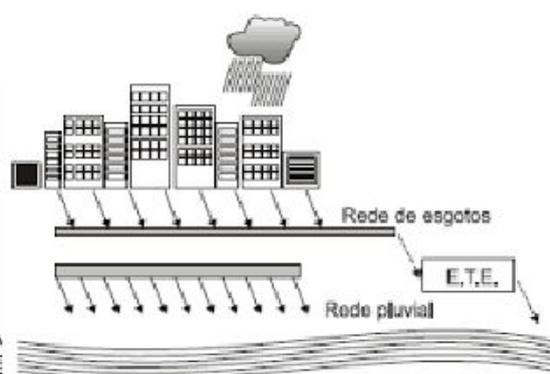


Figura4: Sistema separador absoluto



Fonte: Tsutiya apud Von Sperling (2005)

Os princípios higienistas vigoram no Brasil até os dias de hoje, ainda que modificados por aportes científicos e tecnológicos, e compõem a base dos chamados sistemas clássicos de drenagem (BAPTISTA et al., 2005). As soluções clássicas são compostas por uma rede de condutos que permitem o rápido escoamento das águas pluviais para fora das cidades.

Ainda de acordo com Baptista et al. (2005), as soluções clássicas nem sempre são efetivas para o controle das enchentes e inundações, pois ao retirar das áreas urbanizadas a montante a água com a maior rapidez possível, transfere-se para jusante o problema da inundação. Dessa forma, pensando em solucionar os desafios referentes a drenagem urbana, a partir dos anos 1970, países desenvolvidos da Europa e da América do Norte, iniciaram o desenvolvimento de uma outra abordagem para o problema. Trata-se do conceito de tecnologias alternativas ou compensatórias de drenagem, que buscam neutralizar os efeitos da urbanização por meio da adoção de técnicas que favorecem a infiltração da água no solo e permitem a manutenção das condições naturais de escoamento superficial.

Canholi (2014) apresenta um quadro comparativo entre a técnica clássica de drenagem, relacionada a prática de canalização convencional e as técnicas alternativas, focadas no conceito de reservação das águas pluviais. A Tabela 1, com a comparação entre os dois sistemas de drenagem é apresentada a seguir.

Tabela 1: Conceito de Canalização x Conceito de Reservação

CARACTERÍSTICA	CANALIZAÇÃO	RESERVAÇÃO
Função	Remoção rápida dos escoamentos	Contenção temporária para posterior liberação
Componentes principais	Canais abertos/ galerias	Reservatórios a superfície livre; subterrâneos ou retenção subsuperficial
Impactos nos trechos de Jusante (quantidade)	Aumenta picos das enchentes; Maiores obras nos sistemas de jusante.	Áreas novas: podem ser dimensionados para impacto zero; Reabilitação de sistemas: podem tornar a vazão a jusante compatíveis com a capacidade disponível.
Impactos nos trechos de Jusante (qualidade)	Transporta para o corpo receptor toda carga de poluente afluente.	Facilita a remoção de material flutuante por concentração em áreas de recirculação dos reservatórios e dos sólidos em suspensão, pelo processo natural de decantação.
Manutenção/ operação	Manutenção em geral pouco frequente; manutenção das galerias é difícil, por causa das condições de acesso.	Necessária limpeza periódica; Necessária fiscalização; Sistema de bombeamento requerem operação/manutenção.

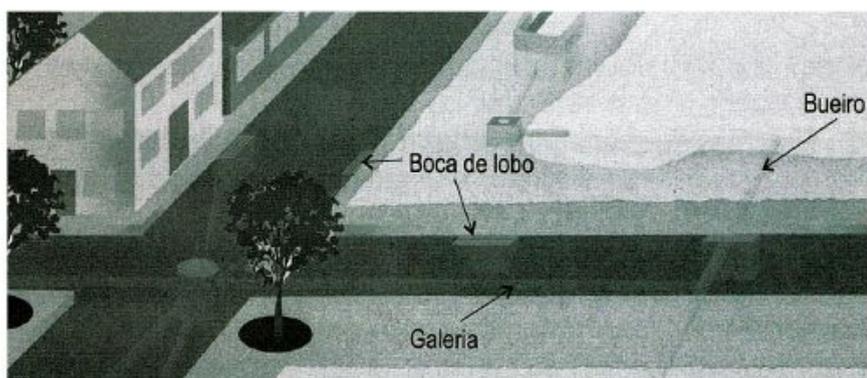
Fonte: Canholi (2015)

4.3 Sistemas de drenagem urbana

4.3.1 Sistema clássico ou convencional

Os sistemas clássicos de drenagem são construídos com foco na filosofia do rápido escoamento das águas pluviais. Esses sistemas são compostos por dispositivos de microdrenagem que deságuam em sistemas de macrodrenagem. O primeiro sistema é composto por sarjetas, bocas de lobo, poços de visita e galerias tubulares e celulares, conforme exemplo apresentado na figura 5. O segundo, referente a macrodrenagem, é composto pela implantação de canais, cobertos ou não, nos cursos d'água naturais, conforme é mostrado na figura 6, que apresenta o Córrego Acaba Mundo no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, em 1950, após passar por obras de drenagem urbana e se transformar em um canal.

Figura 5: Esquema com dispositivos de microdrenagem



Fonte: Baptista (2005)

Figura 6: Sistema de macrodrenagem



Fonte: Borsagli, 2011

O modelo convencional de drenagem urbana está sendo rediscutido, tendo em vista as ocorrências cada vez mais constantes de enchentes em áreas urbanas que os possuem. As enchentes, inundações e enxurradas ocorrem devido a maior eficiência hidráulica do escoamento, que corre com grande velocidade nos condutos e canalizações e propaga as cheias para jusante.

Segundo Baptista et al. (2005), a implantação de canalizações em cursos d'água situados em áreas urbanas faz com que a população acredite que as inundações cercearam, o que cria uma falsa sensação de segurança e isso se transforma em um incentivo para ocupação de áreas ribeirinhas. Agregado a essa questão, a implantação de avenidas, denominadas sanitárias, às margens dos cursos d'água são responsáveis pela ocupação das antigas planícies de inundação, ou seja, as áreas naturais de alagamento. Esse cenário exige que sejam feitas adequações dos sistemas de drenagem existentes, como a ampliação de canalizações e canais, o que resulta em obras onerosas e de difícil execução, devido a urbanização já consolidada.

4.3.2 Técnicas compensatórias de drenagem pluvial

Na concepção das técnicas compensatórias ou alternativas de drenagem urbana o que se busca é introduzir retardos na propagação de cheias ou implantar tecnologias de infiltração das águas pluviais, conforme as precisas conclusões de Moura (2010):

Os sistemas compensatórios ou alternativos de drenagem urbana se opõem ao conceito de evacuação rápida das águas pluviais, baseiam-se na infiltração e retenção das águas precipitadas, acarretando uma diminuição no volume de escoamento superficial, bem como o rearranjo temporal das vazões. Quando adequadamente concebidos, eles podem exercer um importante papel na melhoria da qualidade das águas pluviais. Eles podem assumir múltiplas formas, podendo ser utilizados em diferentes escalas, desde pequenas parcelas, até o projeto de sistemas de drenagem para cidades inteiras, além de poderem ser facilmente integrados ao meio ambiente, permitindo usos diversos pela população, como áreas de estacionamento, áreas para a prática de esportes, áreas de parques ou de lazer inundáveis (MOURA, 2010).

Portanto, o grande desafio do planejamento urbano atual é criar soluções para às regiões já ocupadas e para novas áreas de ocupação das bacias, o que pode ser perfeitamente alcançado pelas técnicas compensatórias de drenagem urbana.

As técnicas compensatórias de drenagem, diferente dos sistemas clássicos, focam na retenção e na infiltração das águas de chuva, e colaboram para a sustentabilidade do sistema. Fazendo um paralelo entre as técnicas clássicas e as alternativas sustentáveis dos sistemas de drenagem, observa-se que os sistemas clássicos possuem apenas a função de controlar as cheias e afastar as águas rapidamente, o que implica em seu baixo valor social e ecológico. Já os sistemas compensatórios, partem de uma visão sustentável e são compostos por estruturas que combinam vários usos, como lazer, manutenção da diversidade biológica, sem prejudicar a sua função de controle das cheias e sua contribuição com a melhoria da qualidade da água (TOMINAGA, 2013). A Figura 7 mostra a evolução do manejo de águas pluviais, indicando o valor social das técnicas apresentadas.

Figura 7: Evolução do manejo de águas pluviais



Fonte: Tominaga, 2013.

As técnicas compensatórias de drenagem são divididas em estruturais e não- estruturais. Técnicas estruturais são as construções de infraestruturas para retenção e/ou infiltração das águas pluviais, já as técnicas não-estruturais refere-se à legislação sobre uso e ocupação do solo e a conscientização da sociedade, por meio da educação ambiental, da problemática relacionada as inundações e enchentes, de forma que seja possível obter resultados sem a necessidade de fazer novas estruturas de drenagem (BAPTISTA et al, 2011). A Figura 8 mostra de forma esquemática as técnicas alternativas de drenagem classificadas em estruturais e não estruturais.

Figura 8: Técnicas compensatórias classificadas em estruturais e não-estruturais



Fonte: Baptista et al. (2011)

Conforme discutido por Baptista et al. (2005), as soluções compensatórias mais adotadas são as bacias ou reservatórios de detenção, lagos de retardo para armazenamento temporário, pavimentos porosos, estruturas com fins específicos de infiltração para recarga dos aquíferos livres, recuperação da meandrização dos cursos d'água em áreas urbanas e tratamento dos fundos de vale. De acordo com Baptista et al. (2011), as

técnicas podem ser divididas em três grupos, denominados técnicas para controle na fonte, técnicas lineares e técnicas para controle centralizado.

4.3.2.1 Dispositivos das técnicas compensatórias para controle na fonte

As técnicas compensatórias denominado técnicas para controle na fonte, BMP (Best Management Practices) ou LID (Low Impact Development), são utilizadas em regiões onde a bacia de drenagem são pequenas e empregam-se os poços de infiltração, valas ou valetas de infiltração, microreservatórios domiciliares (cisternas) e telhados armazenadores. Geralmente essas técnicas são aplicadas diretamente nos lotes e edificações de forma individualizada. (BAPTISTA; FELIPE; TECEDOR, 2012). As descrições de algumas das técnicas citadas são descritas a seguir.

- Poços de Infiltração

Os poços de infiltração são técnicas pontuais, com capacidade para drenar pequenas áreas, e se caracteriza pela infiltração da água no solo como medida de compensação hidrológica (MARTINS, 2017). O funcionamento dos poços é simples: a água é introduzida no equipamento compensatório diretamente por uma rede de drenagem ou pelo escoamento superficial, conforme apresentado na figura 9.

Figura 9: Poço de infiltração



Fonte: Martins (2017)

- Microreservatórios domiciliares

Os microreservatórios domiciliares, também conhecidos como cisternas, são pequenos tanques dentro dos lotes, que possuem a função de armazenar águas pluviais. Estas estruturas, ao reterem água na fonte, contribuem para o amortecimento dos piques de cheia, pois promove diminuição do escoamento superficial. Além disso, a reserva de água pluvial representa uma forma alternativa e ambientalmente sustentável de prover água para uso doméstico, o que pode resultar na diminuição da demanda do uso de água de abastecimento por parte da população. A água pluvial é deslocada por meio de calhas e canos do telhado das casas até o dispositivo de armazenamento.

- Telhados armazenadores

Um fator de impermeabilização dos centros urbanos são as edificações. Dessa forma, uma das possibilidades de reduzir os efeitos da impermeabilização sobre o escoamento e promover o amortecimento da vazão nas redes de água pluvial é armazenar temporariamente a água de chuva no telhado das edificações (BAPTISTA, 2005). Os telhados armazenadores, também conhecidos como telhados verdes (Figura 11), podem ser inclinados ou planos e possuir ou não camadas de solo vegetado. Os telhados verdes, além da função de detenção ou retenção de água, possuem funções adicionais como isolamento térmico da edificação, o que resulta em economia de energia em condicionamento climático, embelezamento da paisagem urbana, amenização do microclima local, redução da poluição atmosférica, entre outros (MARTINS, 2017).

Figura 11: Telhado verde da Universidade de Nanyang, Singapura



Fonte: Martins (2017)

4.3.2.2 Dispositivos das técnicas compensatórias lineares

As técnicas compensatórias lineares são aquelas inseridas junto com os sistemas viários, pátios, ruas e estacionamentos, todos com grandes áreas nas bacias de drenagem contribuintes. Nesse grupo aplicam-se os pavimentos porosos, valas de retenção e trincheiras de infiltração. O conjugado pavimentos porosos e trincheira de infiltração está apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Fotos de técnicas compensatórias



Fonte: Martins (2017)

As técnicas compensatórias lineares citadas são boas alternativas para reduzir o escoamento superficial e evitar a sobrecarga da rede pluvial, além de permitirem que as águas da chuva cheguem diretamente ao lençol freático e diminuam a necessidade de estruturas muito complexas para rede pluvial. Os pavimentos porosos, também conhecidos como pavimentos permeáveis ou drenantes, possibilitam a pavimentação de grandes extensões.

4.3.2.3 Dispositivos das técnicas compensatórias controle centralizado

As técnicas para controle centralizado são compostas por bacias de detenção e retenção e estão associadas a áreas de bacias de drenagem de grande porte. Conforme Tucci (2015), o objetivo das bacias e reservatórios de detenção é minimizar os impactos hidrológicos provocados pela redução da capacidade de armazenamento natural da bacia hidrográfica. Em diversas capitais e cidades brasileiras esses dispositivos estão presentes, como Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte. Na capital carioca e paulista essas tecnologias de drenagem são conhecidas popularmente como piscinões, em desacordo a sua real função e impossibilidade de uso para recreação.

Canholi (2014) diz que soluções compensatórias que envolvem a retenção dos escoamentos são compostas por estruturas que amortecem os picos de vazão por meio do armazenamento das águas pluviais. Dessa forma, é possível ver o modelo descrito pelo autor nas Figuras 13 e 14, a primeira imagem é do reservatório de detenção da praça Niterói no Rio de Janeiro em fase de implantação e a segunda é uma fotografia aérea da bacia de detenção Santa Lúcia no município de Belo Horizonte.

Figura 13: Técnica para controle centralizada



Fonte: Ottoni (2018)

Figura 14: Barragem Santa Lúcia



Fonte: PBH

Segundo Baptista et al. (2005) as bacias de retenção tem três funções principais relacionadas a drenagem urbana de águas pluviais:

- O amortecimento de cheias geradas em contexto urbano como forma de controle de inundações;
- A eventual redução de volumes de escoamento superficial, nos casos de bacias de infiltração;
- A redução da poluição difusa de origem pluvial em contexto urbano.

Certu (2006) descreve algumas vantagens e desvantagens das bacias de retenção, que são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2: Vantagens e desvantagens das bacias de retenção

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - efeito paisagístico, com a criação de áreas verdes em meio urbano; Armazenamento de volumes de água que podem ser utilizados para outros fins, como, por exemplo, reserva para incêndio ou irrigação de jardins, em pequenas bacias construídas nos lotes; - bacias de infiltração podem possibilitar recargas de aquíferos e dispensam tubulações de descarga a jusante; - em áreas não completamente urbanizadas, as bacias podem servir como reserva ecológica, colaborando com a preservação da fauna e flora; - as águas que passam pelas bacias são decantadas as partículas sólidas ficam retidas no fundo das mesmas, o que contribui para melhor qualidade das águas. 	<ul style="list-style-type: none"> - risco a segurança dos moradores de suas margens; - a ocupação de grandes áreas; - risco de poluição de aquíferos em casos de bacias de infiltração; - risco da proliferação de insetos e doenças veiculadas por eles nas áreas próximas as bacias de retenção.

Fonte: Certu (2006)

4.4 Drenagem urbana em Belo Horizonte

De acordo com Borsagli (2010), a concepção urbanística inicial de Belo Horizonte baseou-se na ideia do domínio da natureza pelos seres humanos. Quando a cidade foi projetada no século XIX, os projetos urbanísticos ignoraram os cursos d'água que atravessavam a zona urbana. Segundo Aroeira (2010), o sistema de drenagem natural da cidade de Belo Horizonte é constituído por dois ribeirões principais, da Onça e Arrudas. As nascentes e cabeceiras de ambos, no entanto, estão localizadas no Município de Contagem. Dentro os quatro principais córregos da cidade – Córregos do Acaba Mundo, Serra, Leitão e Ribeirão Arrudas, apenas o Arrudas estava em harmonia com a malha urbana projetada.

A partir da década de 20 os cursos d'água da capital mineira começaram a ser retificados e canalizados. Naquela época também predominavam os princípios higienistas, disseminado nas principais capitais do país, e, em razão disso, os sistemas de drenagem e esgoto implantados na cidade visavam escoar e evacuar a água o mais rápido possível.

Figura 15: Córrego Leitão retificado

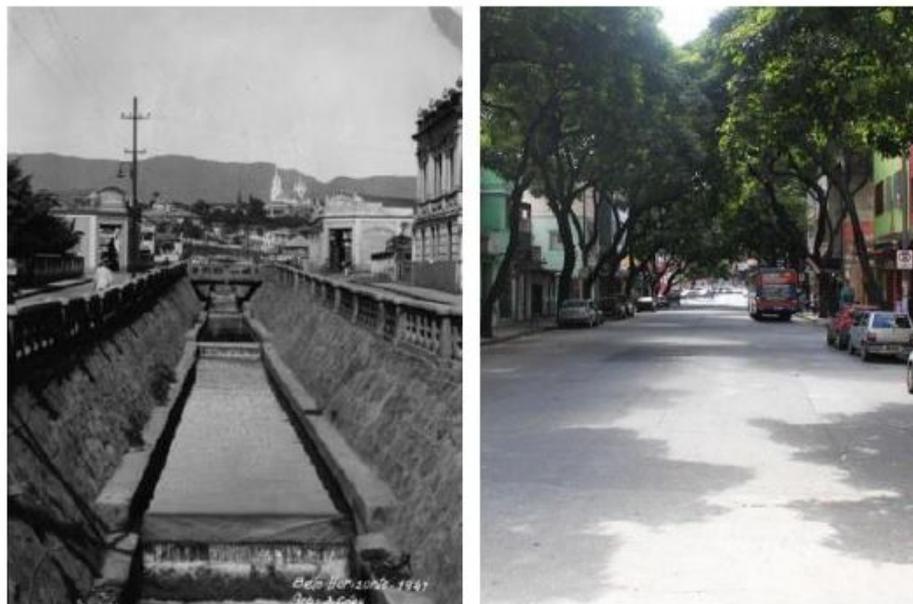


Fonte: Borsagli, 2011

A partir da década de 50, os rios que cortavam a cidade passaram a ser cobertos. Segundo Borsagle(2011) o primeiro rio da capital a ser coberto foi córrego do Acaba mundo que cortava toda a região central de Belo Horizonte desembocando no parque municipal Américo Renné Giannetti. A partir de então os cursos d'água da cidade foram marginalizados e escondido e deram lugar a avenidas. Nas áreas centrais da capital todos os cursos d'água foram canalizados ou se encontram confinada em canais fechados.

Segundo a SUDECAP (2008), a capital mineira possui 654 km de rios cortando seu território, desse total 208 km estão recobertos por concreto e tornaram-se invisíveis aos olhos da população, conforme o exposto na Figura 16.

Figura 16: Córrego Leitão em 1949 e em 2016



Fonte: Rosa (2017)

4.4.1 Legislação de drenagem urbana em Belo Horizonte

De acordo com Aroeira (2010), em 1996, durante a elaboração do Plano Diretor do município, percebeu-se a necessidade da cidade contar com um instrumento de planejamento de drenagem. Dessa forma, foi sancionada a lei ordinária nº 7166 de 27 de agosto de 1996 que estabelece normas de uso e ocupação do solo urbano. Buscando reduzir o escoamento superficial, essa lei determina limites para a impermeabilização do solo, com a exigência da implantação de caixas coletoras de águas pluviais conforme a porcentagem do terreno impermeabilizado.

Os sistemas de drenagem urbana apresentam impactos tão significativos que o Estado de Minas Gerais, por meio do Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM - criou a Deliberação Normativa 95 de 12/04/2006. Essa deliberação normativa dispõe critérios para o licenciamento ambiental de intervenções, em cursos d'água e de sistemas de drenagem urbana no estado. A fim de se atender a essa norma da COPAM, devem os sistemas de drenagem preservar os cursos d'água, não contribuindo para o aumento de sua poluição e preservar as várzeas de inundação; evitar o revestimento das calhas

dos rios que provoca o aumento da velocidade de escoamento, com consequente transferência das inundações para jusante e eliminação de ecossistemas aquáticos. Agregado a essas questões, foram impostas severas restrições ao uso de canalizações em cursos d'água urbanos. Ficou estabelecido, também, que a drenagem urbana deve constar no Plano Diretor de Saneamento previsto no Art. 19 da Lei 11.445/2007.

. Todos os cursos de água existentes no município foram contemplados pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana de Belo Horizonte (PDDU BH), por meio do programa DRENURBS, que propõe o tratamento integrado dos problemas sanitários, ambientais e sociais nas bacias hidrográficas cujos cursos d'água, embora degradados pela poluição e/ou pela invasão de suas margens, ainda se conservam em seus leitos naturais, ou não canalizados.

O DRENURBS foi dividido em duas etapas: a primeira envolvia ações de caracterização e diagnóstico das bacias hidrográficas, cadastro de macro e microdrenagem, avaliação estrutural de todos os canais e implantação de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para a drenagem urbana e foi concluída em 2001; a segunda fase foi composta por ações de modelagem matemática hidrológica e hidráulica do sistema de macrodrenagem das bacias hidrográficas dos ribeirões Arrudas e Onça, o desenvolvimento da Carta de Inundações de Belo Horizonte, a criação dos núcleos de alerta de chuvas a instalação de placas educativas e de alerta à população, a implantação do sistema de monitoramento hidrológico e alerta contra Inundações, atualização e ampliação do SIG de drenagem, monitoramento da qualidade das águas, proposição de um novo modelo de gestão pública das águas urbanas, o que abriu caminhos para o implemento de técnicas compensatórias de drenagem urbana em Belo Horizonte (PBH, 2018).

4.5 Modelagem Hidrológica

Na hidrologia urbana, a modelagem é uma ferramenta de grande valia para representar o ciclo hidrológico em bacias urbanizadas. Os modelos têm o objetivo de permitir o melhor entendimento da dinâmica de uma ou mais bacias interligadas, além de possibilitar a simulação de cenários reais e hipotéticos. Segundo Tucci (2015), de modo geral, modelos chuva-vazão, que transformam

a chuva de projeto em vazão de projeto, são adotados para definição de hidrogramas de projeto, especialmente quando não se dispõe de dados hidrológicos.

Entre os processos do ciclo hidrológico está a precipitação pluvial, que é a precipitação em forma de chuva. A precipitação pluvial ocorre com irregularidades de distribuição temporal e espacial, o que a torna importante para modelagens hidrológicas e dimensionamentos de obras hidráulicas, como bueiros, barragens, irrigação, controle de inundações e erosão (Oliveira et al., 2011).

A caracterização de precipitações para modelagens hidrológicas pode ser realizada por meio da relação entre intensidade, o tempo de duração e a frequência de ocorrência, que é conhecida como método intensidade-duração-frequência (IDF) e é expressa por modelos matemáticos. O modelo matemático mais comum é expresso pela Equação 1.

$$Im = \frac{kTR^a}{(t+b)^c} \text{(Equação 1)}$$

Na qual:

Im= intensidade de precipitação média máxima (mm h-1);

k, a, b e c= parâmetros de ajuste locais;

TR= período de retorno (ano);

t= tempo de duração da chuva (min)

Segundo Almeida (2016), o caminho para definir o hidrograma da eia de projeto, é calcular a precipitação efetiva seguido de uma função de transferência, também denominada hidrograma unitário, que permitirá a distribuição temporal do volume total de chuva efetiva. Um método aplicado com muita frequência no Brasil para determinação da precipitação efetiva é o método desenvolvido pelo SCS – Soil Conservation Service do departamento de Agricultura dos Estados Unidos. O modelo tem como principal parâmetro o CN (Curve Number), que depende do tipo do solo, da condição de uso e ocupação do solo e das condições antecedentes de umidade do solo. O SCS determina 4 grupos de solo, conforme Tabela 3.

Tabela 3: Grupos hidrológicos de Solo

Tipo de solo	Descrição
A	Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.
B	Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos que o do tipo A e com permeabilidade superior a média.
C	Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e pouco profundo.
D	Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

Fonte: Tucci, 2015

Em relação as condições de uso e ocupação do solo propostas pelo método, a tabela 4 fornece os valores para os diferentes tipos de solo e suas respectivas condições de ocupação

Tabela 4: Valores de CN para bacias urbanizadas

UTILIZAÇÃO OU COBERTURA DO SOLO	Solo Tipo A	Solo tipo B	Solo tipo C	Solo tipo D
Zonas cultivadas:				
sem conservação do solo	72	81	88	91
com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens e terrenos em más condições	68	79	86	89
Baldios em boas condições	39	61	74	80
Prados em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais				
cobertura boa	25	55	70	77
cobertura ruim	45	66	77	83
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golf, cemitérios, em boas condições				
com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
com relva de 50 a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residenciais				
lotes de (m ²)				
%média impermeável				
<500	65			
1000	38	77	85	90
1300	30	61	75	83
2000	25	57	72	81
4000	20	54	70	80
51	68	79	84	
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.	98	98	98	98
Arruamentos e estradas				
asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
Paralelepípedos	76	85	89	91
Terra	72	82	87	89

Fonte: Tucci (2015)

De acordo com Tucci (2015), o método do número CN (curve number) propõe a Equação 2.

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + S} \text{ (Equação 2)}$$

Sendo:

Q= escoamento superficial, runoff ou chuva excedente (mm)

P= precipitação (mm)

Ia = abstração inicial (mm)

S= potencial máximo de retenção após começar o runoff (mm).

Tucci (2015) afirmou que as abstrações iniciais (Ia) significam todas as perdas antes do escoamento superficial e relaciona-se a água retida nas

depressões da superfície e interceptada pela vegetação, bem como, a água evaporada e infiltrada. Empiricamente foi determinado pela SCS que Ia é aproximadamente igual a:

$$Ia = 0,2 S \quad (\text{Equação 3})$$

O parâmetro S que está relacionado ao armazenamento de solo é determinado pela seguinte equação 4:

$$S = \frac{25400}{(CN)} - 254 \quad (\text{Equação 4})$$

4.6 Simulação Hidrológica utilizando o Software ABC6

O ABC6, também conhecido como Análise de Bacias Complexas, é um programa de domínio público, desenvolvido no Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que serve para determinar de hidrogramas de escoamento superficial direto e o caminho dos hidrogramas de cheia pela rede hidrográfica. O Sistema de Suporte a Decisões para Análise de ondas de cheia em bacias complexas (SSD ABC) originou-se com finalidades didáticas, para atender a alunos de graduação e pós-graduação. Porém, atingiu um estado de desenvolvimento que o permitiu ser utilizado também profissionalmente devido às facilidades de utilização e dos seus métodos de cálculo. Como ideia básica, adotou-se o uso de métodos matemáticos para o dimensionamento de vazões máximas em pequenas bacias sem dados, que representa o perfil típico urbano e de pequenas bacias rurais, assim, auxilia o planejamento quando há escassez de informações ou quando não se tem dados específicos da região, e também pode-se utilizá-lo para auxiliar em estudos de pré-dimensionamento.

O ABC6 permite a escolha entre quatro modelos para o cálculo da chuva excedente (fórmula de Horton, fórmula de Green e Ampt, método do SoilConservation Service e método do Índice Fi), e a escolha do método para o traçado do hidrograma de escoamento superficial (Sta. Barbara, de Clark e

hidrograma triangular do SCS). O sistema disponibiliza opções para determinar a tormenta de projeto a partir de precipitações que podem ser adicionadas diretamente pelo usuário ou por meio de relações Intensidade- Duração-Frequência (IDF).

5. METODOLOGIA

A metodologia para atingir os objetivos deste trabalho está dividida em três partes: a) aplicação e consolidação dos questionários para identificar técnicas compensatórias de drenagem em Belo Horizonte e em outras capitais brasileiras; b) levantamento de dados e informações da área de estudo por meio de material técnico disponibilizado pela SUDECAP, pesquisa bibliográfica e visita *in loco* à bacia de retenção Santa Lúcia e entorno, c) realização de modelagens hidrológicas com o auxílio do software ABC6 para analisar a eficácia da bacia de retenção Santa Lúcia no amortecimento de cheias por meio da simulação de cenários distintos.

5.1 Aplicação e consolidação das informações do questionário

A pesquisa para a aplicação do questionário foi realizada em duas etapas sequenciais. A primeira etapa, foi realizada através de busca em sites de prefeituras das capitais presentes na rede mundial de computadores para a identificação de possíveis setores responsáveis pela gestão dos sistemas de drenagem pluvial urbana. A etapa seguinte se deu através de ligações telefônicas para identificar o real setor de gestão e o profissional para envio e obtenção de respostas do questionário.

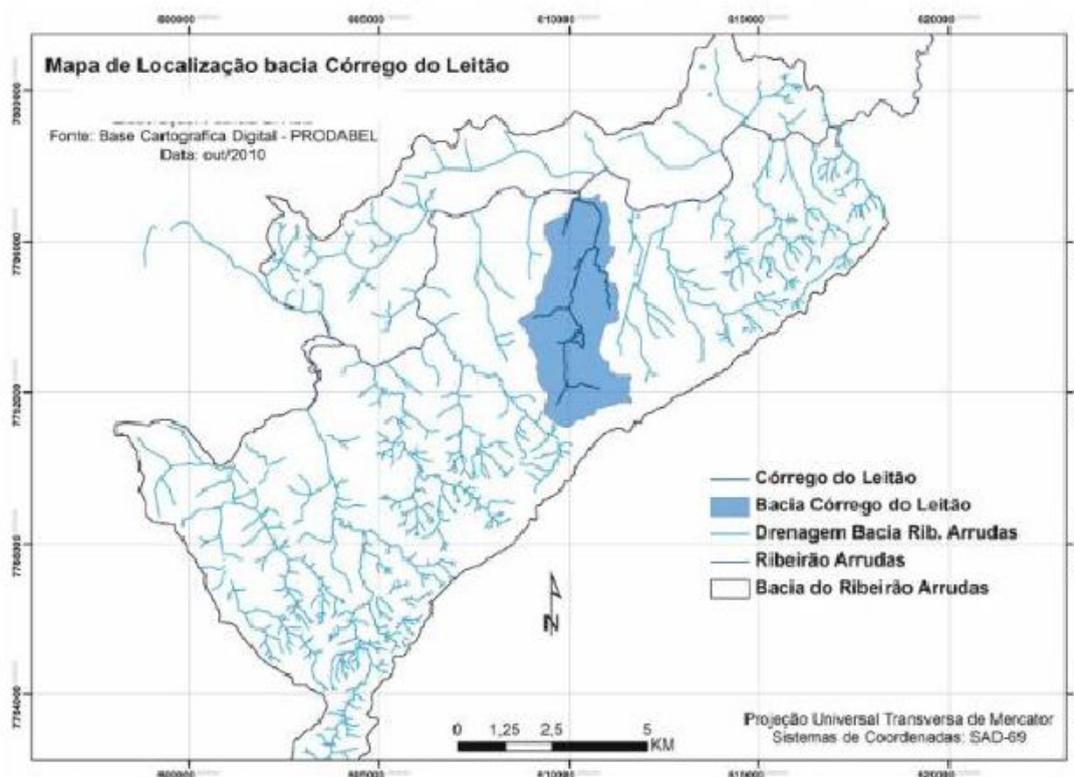
O questionário foi construído de forma a permitir respostas diretas da presença ou ausência de sistemas de drenagem pluvial, técnicas compensatórias localizadas na fonte e técnicas compensatórias implantadas em sistemas de drenagem pluvial como remediação de problemas de enchentes, inundações e alagamentos. O Anexo 1, do presente trabalho, apresenta o formulário do questionário aplicado.

De posse das respostas, montou-se quadros com o resumo das respostas.

5.2 Caracterização da bacia de detenção Santa Lúcia

A bacia de Detenção Santa Lúcia, conhecida popularmente como Barragem Santa Lúcia, localiza-se na região Centro-sul de Belo Horizonte, na sub-bacia do Córrego do Leitão, que é tributário da bacia do Ribeirão Arrudas, conforme o mapa apresentado na Figura 17.

Figura 17: Mapa de localização da bacia do Córrego Leitão



Fonte: Reis et al.(2012)

A bacia de detenção foi construída na década de 1970 com o objetivo de conter a água do escoamento superficial e por consequência amortecer as cheias do córrego do Leitão que atingiam a Avenida Prudente de Moraes(BORSAGLI, 2011). A bacia cumpriu por muitos anos o seu objetivo, porém devido o processo de assoreamento, a sua capacidade de amortecimento ficou comprometida e o reservatório tem passado por obras de desassoreamento, conforme apresentado na Figura 18.

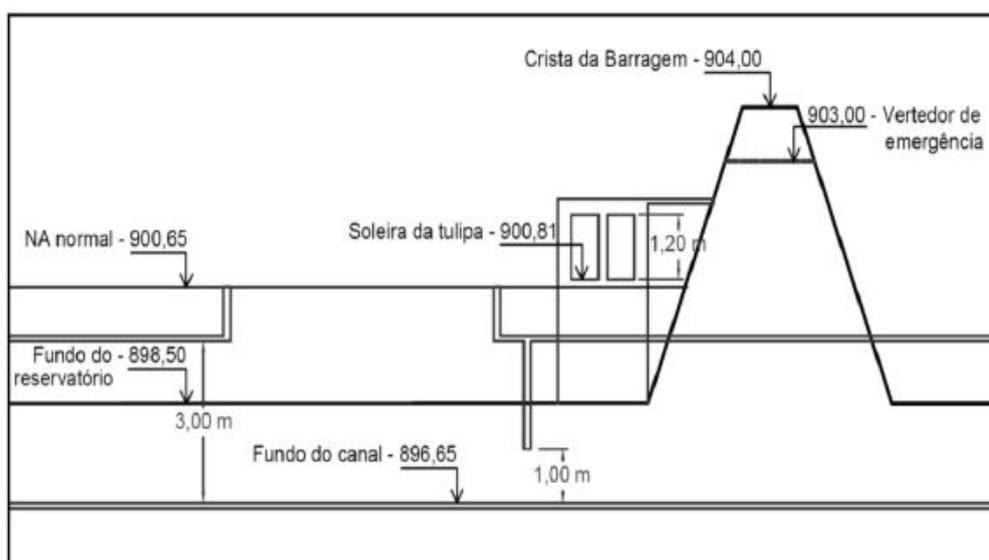
Figura 18: Barragem Santa Lúcia



Fonte: Da autora, 2018

O reservatório com capacidade para um volume morto de $42,710\text{m}^3$, ocupa 3,08 hectares e possui um espelho d'água permanente na altitude de 900,65m. O canal do córrego do Leitão passa abaixo do reservatório, no meio do qual há uma abertura de onde a vazão excedente verte quando o nível d'água no canal ultrapassa os quatro metros de altura (ROSA, 2017). Na Figura 19 consta a representação da bacia de detenção em corte longitudinal com suas respectivas cotas.

Figura 19: Representação esquemática da bacia de detenção



Fonte: Rosa, 2017

Na visita in loco, realizada em outubro de 2018, foram observadas as seguintes estruturas compondo o sistema de drenagem:

- Um canal de emergência (**Figura 20**) responsável por escoar parte da água acumulada no reservatório quando o volume atinge níveis críticos.
- Um vertedor de vazão (**Figura 21**)
- Um vertedor auxiliar do tipo Tulipa (**Figura 22**) que entra em funcionamento quando a cota do reservatório atinge 900,81m, conforme mostrado na figura 19.
- Uma escada hidráulica com uma boca de lobo na base e um bueiro simples tubular de concreto (**Figuras 23 e 24**). Essas estruturas tem o objetivo de direcionar o fluxo do escoamento para o reservatório.

Figura 20: Canal de Emergência



Figura 21: Vertedor de Vazão



Fonte: Da autora, 2018

Figura 22: Vertedor Tulipa



Figura 23: Escada hidráulica



Figura 24: Bueiro



Fonte: Da autora, 2018

5.3 Modelagem hidrológica com o auxílio do software ABC6win

Com o auxílio do software ABC6, desenvolvido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, foi possível determinar oshidrogramas de escoamento superficial da bacia de detenção Santa Lúcia em 3 cenários distintos:

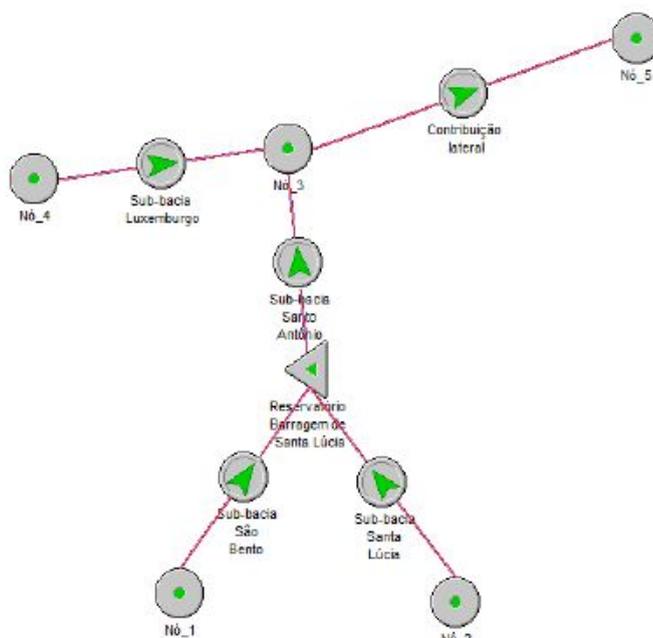
1ª cenário: sem a presença da bacia de detenção.

2ª cenário: Com a presença da bacia de detenção.

3ª cenário: Com aumento de impermeabilização do solo na sub bacia do São Bento, a montante da barragem.

Com auxílios do software ABC6 (Análise de Bacias Complexas), construiu-se o modelo topológico da bacia do córrego Leitão (Figura 25), com base na representação geográfica disponibilizada pela SUDECAP.

Figura 25: Modelo Topológico da Bacia do Córrego Leitão



Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Para realizar a simulação dos cenários utilizou-se o modelo de cálculo de chuva excedente do Soil Conservation Service –SCS, e para a obtenção

dos hidrogramas de cheia utilizou-se o hidrograma unitário sintético também proposto pelo SCS. Para cálculo do CN utilizou-se como base a classificação apresentada em Tucci (2015).

O tempo de concentração foi calculado utilizando a formulação de onda cinética, pois de acordo com o descritivo presente no próprio ABC6 as formulações de onda cinética regem o escoamento turbulento em um plano e, por isso, é de se esperar que funcione bem em pequenas bacias, uma vez que, prevalece esse tipo de escoamento. Tendo-se em vista que o tempo de concentração das sub-bacias foi sempre inferior a 1 hora, empregou-se a discretização da chuva em intervalos de 5 minutos

Para chuva de projeto e obtenção das vazões de pico utilizou-se a equação IDF (intensidade- duração- frequência) de Otto Pfafstetter com duração igual à soma dos tempos de concentração do caminho mais longo do deflúvio superficial, ou seja, das bacias 1, 3 e 5. Dessa forma, adotou-se a duração da chuva igual a 150 minutos, empregando-se o Tempo de Retorno de 25 anos, por tratar-se de uma barragem que descarrega em canal de drenagem urbana.

6. RESULTADOS

6.1 Aplicação e consolidação dos resultados do questionário

O questionário, apresentado no Anexo 1 deste trabalho, foi enviado para as 24 capitais estaduais do Brasil, sendo respondidos até o presente momento 16 questionários, cujos resultados estão apresentados na Tabela 5 e na Tabela 6.

Utilizou-se para a informação da população estimada residente na cidade as informações extraídas do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, para o ano de 2013.

Tabela 5 - Respostas do questionário – Informações gerais

CIDADE	POPULAÇÃO ESTIMADA ANO 2013 FONTE IBGE (hab.)	PORCENTAGEM DA ÁREA ATENDIDA	POSSUI SISTEMA DE DRENAGEM	ESTRUTURAS DE DRENAGEM								
				Sarjetas	Bocas de Lobo	Poços de Visita	Caixas de Passagem	Rede Tubular	Galeria Celular	Canais Abertos	Canais Fechados	Técnicas Compensatórias
Belém	1.425.922	73%	X	X	X	X		X	X	X	X	
Belo Horizonte	2.479.165	90%	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Florianópolis	453.285	80%	X	X	X		X	X	X	X	X	
Fortaleza	2.551.806	45%	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
João Pessoa	769.607	50%	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Maceió	996.733	70%	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Manaus	1.982.177	40%	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Natal	853.928	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Palmas	257.904	58%	X	X	X	X	X	X	X			X
Porto Alegre	1.467.816	85%	X	X	X	X		X	X	X	X	X
Porto Velho	484.992	-	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Rio de Janeiro	6.320.446	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Salvador	2.883.682	50%	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
São Paulo	11.253.503	95%	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Teresina	836.475	-	X	X	X	X		X	X	X	X	X
Vitória	348.268	98%	X	X	X	X		X	X	X		X

Fonte: Elaborado pela autora, 2018

A tabela 6 apresenta a situação de presença das técnicas compensatórias no Brasil para aquelas capitais que responderam o questionário.

Tabela 6 - Informações de técnicas compensatórias

CIDADE	TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS											
	SIST. INDIVIDUAIS					SISTEMAS PÚBLICOS						
	Telhado Verde	Sistema de Infiltração	Reservatório de	Reuso	Pavimento Permeável	Pavimento Permeável	Trincheiras de	Valas de Infiltração	Poços de Infiltração	Reservatório de	Bacia de Detenção	Outros
Belém												
Belo Horizonte		X	X	X		X	X			X	X	
Florianópolis												
Fortaleza						X	X	X				
João Pessoa												
Maceió			X							X		
Manaus		X	X	X						X		
Natal		X	X			X	X	X	X	X	X	
Palmas						X	X	X	X			
Porto Alegre	X	X	X	X	X					X	X	
Porto Velho		X						X				
Rio de Janeiro						X				X	X	
Salvador	X		X	X	X							
São Paulo		X	X	X			X	X		X	X	
Teresina	X		X			X					X	
Vitória										X		

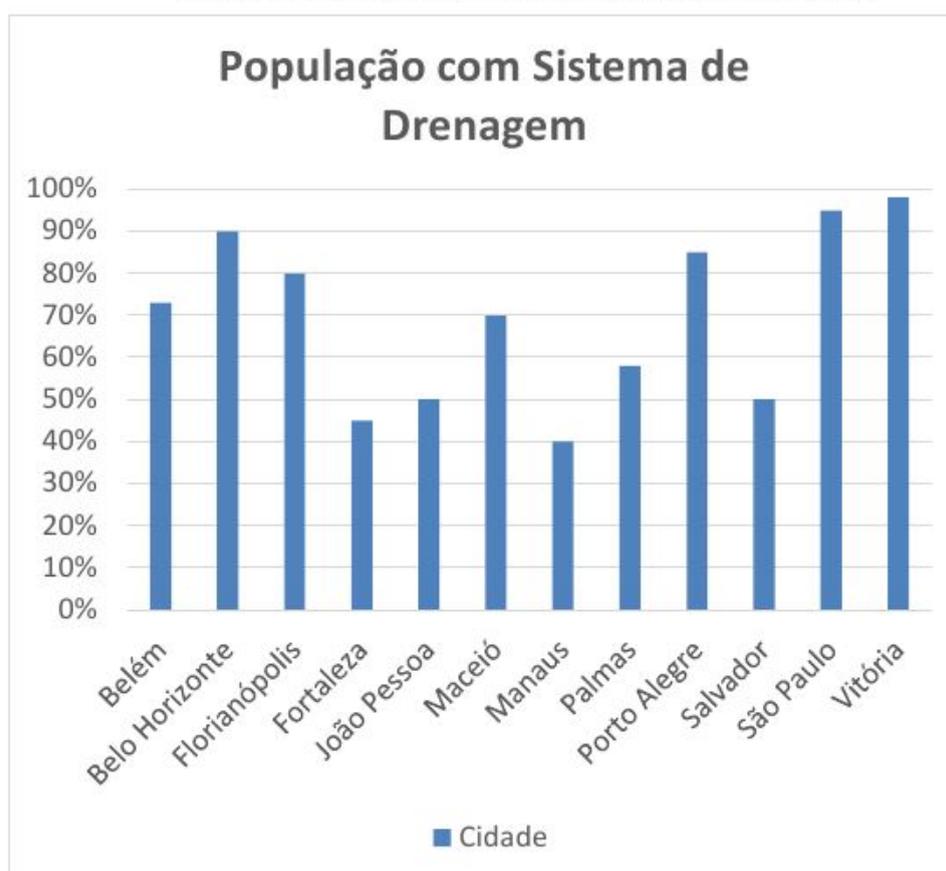
Fonte: Elaborado pela autora, 2018

6.2 Panorama das técnicas compensatórias no Brasil

Conforme descrito, foram realizadas tentativas de contato com todas as capitais brasileira, sendo que em 15 delas estabeleceu-se o contato direto e 16 responderam o questionário enviado. Como resultado do questionário, concluiu-se que 81% das capitais que responderam o questionário possuem alguma técnica compensatória implantada.

Foram obtidas informações referentes a porcentagem da população atendida por sistema de drenagem urbana nas capitais que responderam os questionários. Os resultados obtidos são apresentados no gráfico 1.

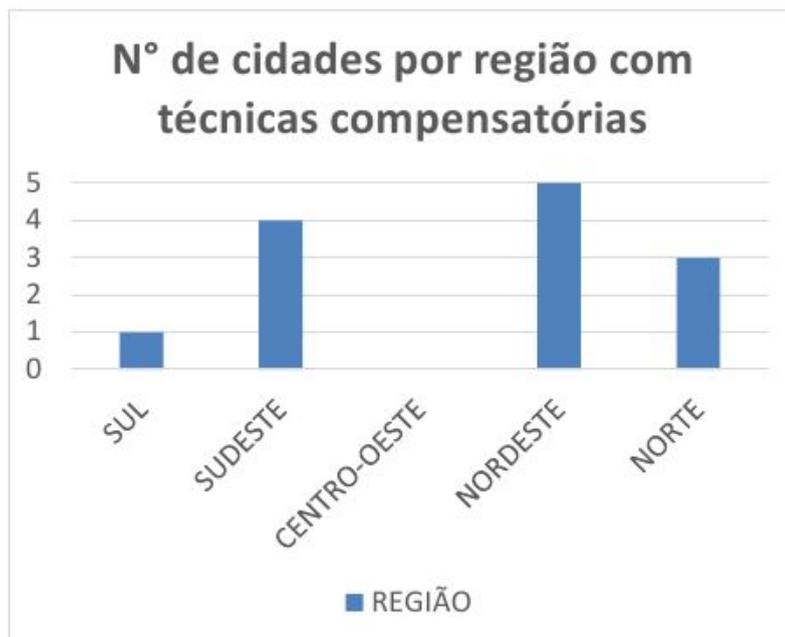
Gráfico 1: População com Sistema de Drenagem



Fonte: Elaborado pela autora, 2018

No gráfico 2 são apresentadas a quantidade de cidades por regiões brasileiras que fazem o uso de técnicas compensatórias. Observa-se que não houve respostas referente ao uso de técnicas compensatórias na região centro – oeste.

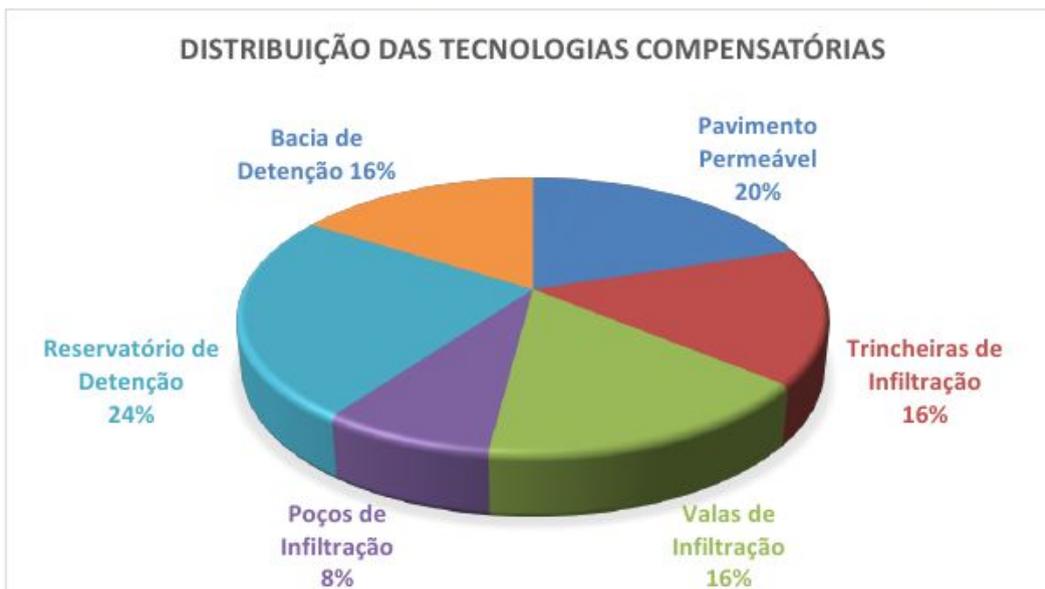
Gráfico 2: Números de cidades por região com técnicas compensatórias



Fonte: Elaborado pela autora, 2018

A Figura 26 apresenta a distribuição das diversas tipologias de tecnologias compensatórias nessas capitais.

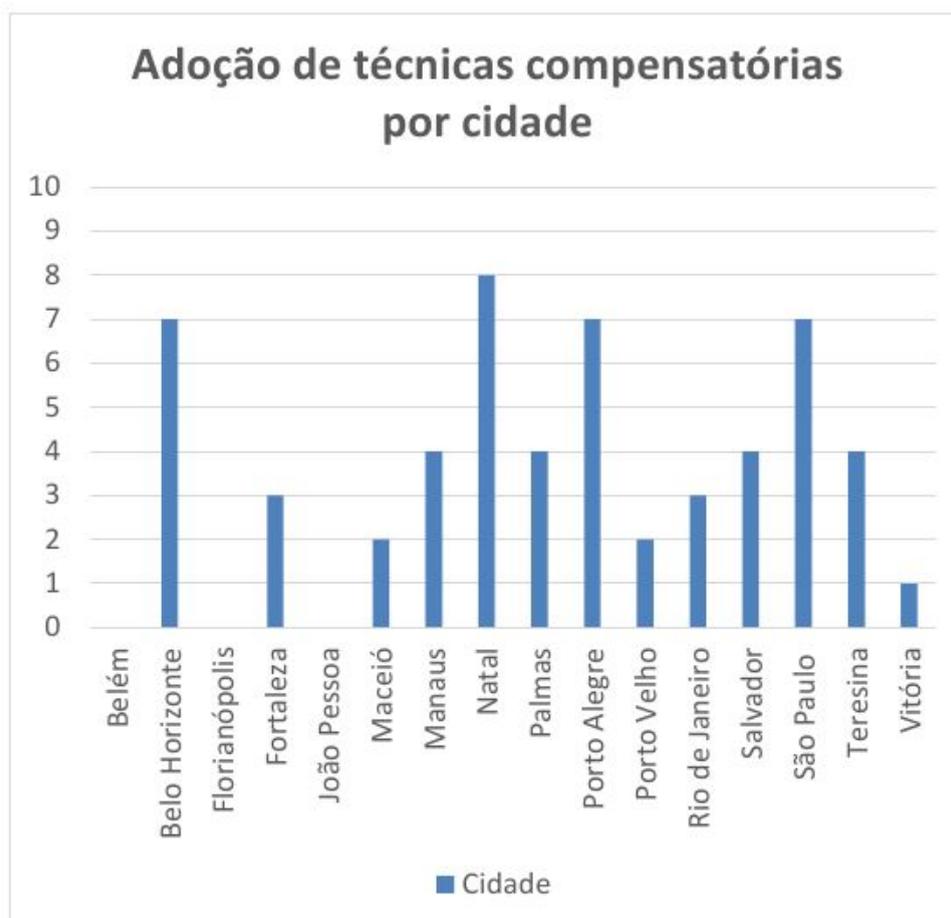
Figura 26 – Distribuição das tecnologias compensatórias em capitais



Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Em relação a distribuição das técnicas compensatórias no Brasil observou-se por meio dos resultados dos questionários que a cidade de Natal é a que mais implantou tecnologias de drenagem sustentáveis no país. Ao todo, a capital do Rio Grande do Norte possui implantadas 8 técnicas compensatórias diferentes, sendo elas sistemas de infiltração, pavimentos permeáveis, reservatórios de detenção, bacia de detenção, trincheiras, valas e poços de infiltração. Em seguida aparece Belo Horizonte e Porto Alegre, que tem implantadas ao todo 7 técnicas compensatórias diferentes cada uma. No Gráfico 3 são apresentadas as quantidades de técnicas compensatórias por cidades brasileiras que adotam as técnicas compensatórias por cidade.

Gráfico 3: Técnicas compensatórias por capitais brasileiras



Fonte: Elaborado pela autora, 2018

De acordo com as respostas dos questionários, a cidade de Vitória, no Espírito Santo relatou fazer o uso de apenas uma técnica compensatória, no caso o reservatório de detenção. O reservatório de detenção se mostrou a

técnica compensatória de drenagem urbana mais difundida no Brasil, sendo utilizada em 9 capitais, dentre elas as 4 capitais que compõem a região sudeste do Brasil - Belo Horizonte, Rio de Janeiro, São Paulo e Vitória.

As cidades de João Pessoa, Belém e Florianópolis utilizam os dispositivos de drenagem clássica, porém não informaram fazer o uso de nenhuma das técnicas compensatórias colocadas no questionário. Dentre as técnicas apresentadas, a menos adotada foi os poços de infiltração, que são utilizados apenas nas cidades de Natal e Palmas.

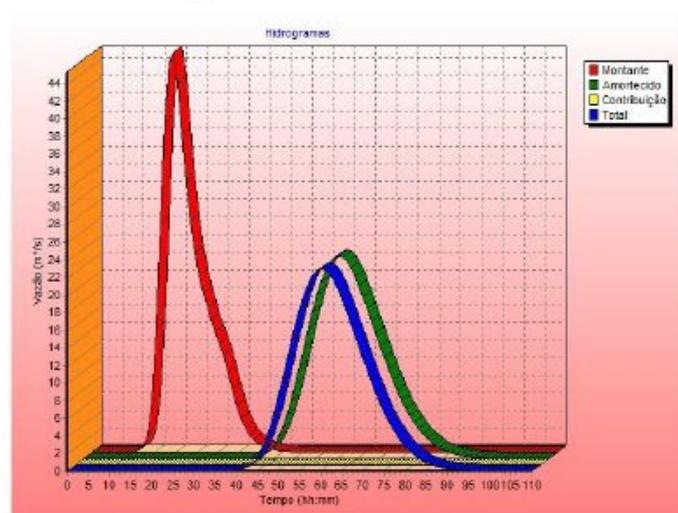
6.3 Simulação hidrológica com ABC6

A simulação hidrológica foi realizada para avaliar a eficácia da bacia de detenção Santa Lúcia no amortecimento de cheias. A técnica compensatória foi escolhida por ser, junto aos reservatórios de detenção, o tipo mais adotado no Brasil, além de ser a pioneira entre as técnicas implantadas no país. A seguir são apresentados os 3 cenários simulados e seus respectivos resultados, utilizados para se atingir o objetivo proposto neste trabalho.

- 1º Cenário:

A imagem 27 mostra os hidrogramas resultantes na sub-bacia Santo Antônio, considerando apenas a vazão de montante, no caso hipotético da não existência da bacia de detenção Santa Lúcia. O hidrograma montante da sub-bacia do Santo Antônio representa toda a vazão que chegaria da das sub-bacias São Bento e Santa Lúcia, no hidrograma ainda é representado a vazão que é amortecida e a vazão total, que é a diferença da vazão de montante e a vazão amortecida. Nesse cenário o software ABC6 calculou um pico de vazão a montante de 45,344 m³/s, que será propagado pela bacia do córrego Leitão até o exutório no nó 5.

Figura 27: Hidrograma na Sub-bacia do Santo Antônio

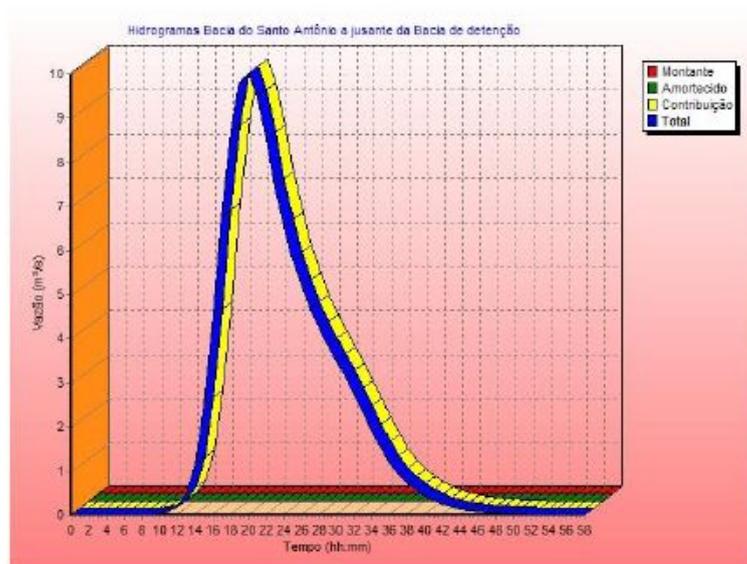


Fonte: Elaborado pela autora, 2018

- 2º cenário:

A imagem 28 mostra o hidrograma resultante na sub-bacia Santo Antônio, considerando a presença da bacia de retenção Santa Lúcia. É possível observar que não há contribuição de montante. Toda a vazão de montante é amortecida pela bacia de retenção. O hidrograma mostra que há apenas a contribuição da sub-bacia 3 (Santo Antônio). Dessa forma, o hidrograma total, tem as mesmas vazões do hidrograma de contribuição, visto que não há contribuição de montante e nem amortecimento. Com a presença da bacia de retenção Santa Lúcia, a vazão de pico na sub-bacia Santo Antônio é 10,029 m³/s.

Figura 28: Hidrograma logo a jusante da bacia de detenção



Fonte: Elaborado pela autora, 2018

- 3º Cenário:

Nesse cenário realizou-se a simulação por meio da variação das condições de impermeabilização do solo fazendo uso da alteração do número da curva (CN) na sub bacia do São Bento. Com essa simulação observou-se que o máximo número da curva (CN) possível para que a bacia de detenção Santa Lúcia seja capaz de amortecer as cheias é 96. Em condições normais utilizou-se CN de 83 como entrada do software ABC6 para a sub bacia do São Bento. Os resultados em relação a chuva excedente (escoamento superficial) relacionado a simulação com CN = 83 e CN= 96 podem ser observadas figura 29e 30, respectivamente. A parte verde do hietograma representa a chuva infiltrada e a parte em vermelho a chuva excedente, que representa o escoamento superficial.

Figura 29: Hietograma CN=83

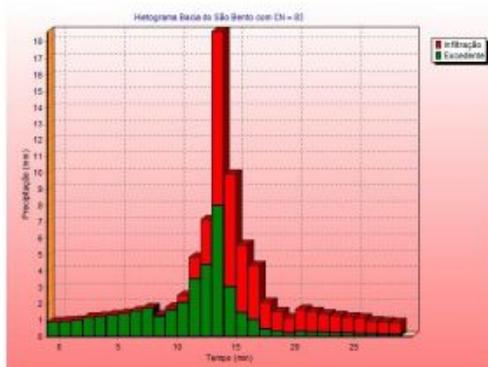
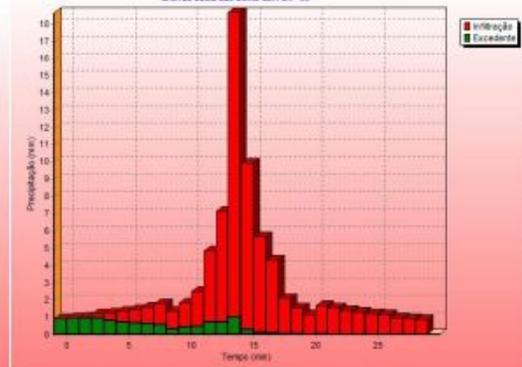


Figura 30: Hietograma CN=96



Fonte: Elaborado pela autora, 2018

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo dos anos a drenagem urbana foi considerada apenas à nível local e pensada para um escoamento rápido das águas, o que contribui para enchentes e inundações. Dessa forma, é preciso repensar conceitos, trabalhar a nível de bacias e sub bacias e investir na implantação de técnicas compensatórias de drenagem. Tais técnicas mostram-se boas soluções para o amortecimento do deflúvio superficial, devido a impermeabilização dos solos.

É possível verificar a mudança na sistemática da drenagem pluvial, com o aumento do emprego de tecnologias compensatórias para o maior controle de enchentes urbanas. A técnica mais empregada é o reservatório de retenção seguido do pavimento permeável. Há que se considerar que durante a aplicação do questionário notou-se uma superposição de conceitos para bacias e reservatórios de retenção em algumas capitais. Muitos ainda utilizam o termo piscinão para bacias de retenção.

Os resultados dos questionários indicam uma resposta parcial à solicitação junto aos gestores municipais quanto ao fornecimento de informações sobre os sistemas de drenagem urbana das capitais estaduais do Brasil. Isso pode ter ocorrido pela pouca visibilidade das pesquisas acadêmicas no país, o que indica uma necessidade do fortalecimento das relações entre meio acadêmico e os órgãos gestores, tendo em vista que a incorporação no sistema de drenagem urbana das técnicas compensatórias

requer avaliação e estudos, que geralmente são realizados dentro das universidades.

Quanto aos resultados apresentados, verificou-se uma redução significativa da vazão escoada quando comparado o cenário (2) com cenário (1). A partir da análise comparativa dos resultados da propagação de cheias sem e com a presença do reservatório da Barragem de Santa Lúcia, foi possível concluir que para a chuva de projeto cujo período de retorno é de 25 anos com duração de 150 minutos, houve um amortecimento significativo da vazão efluente no ponto onde foi implantada essa estrutura hidráulica. Já no cenário (3), constatou-se que a barragem é eficiente na contenção do deflúvio pluvial, mesmo quando há aumento do parâmetro de impermeabilização do solo da sub bacia 1. Tais resultados indicam a importância de se utilizar técnicas compensatórias como auxílio ao manejo sustentável das águas pluviais no Brasil.

Observou-se no decorrer do trabalho, que a modelagem hidrológica é realizada em meio a imprecisões e incertezas e que isso pode gerar cenários simulados não condizentes com as situações reais esperadas, dessa forma há a necessidade de se ampliar o conhecimento sobre as interações do meio urbano com o ciclo hidrológico, de forma a minimizar as incertezas nos parâmetros usados nos projetos. Em relação ao uso do software ABC6 na elaboração desse trabalho, o mesmo se mostrou satisfatório e de fácil uso.

8. PROPOSTA DE CONTINUIDADE

A necessidade de se empregar técnicas de gestão das águas pluviais urbanas junto a abordagem de desenvolvimento sustentável, objetivam a melhoria do bem-estar social, econômico e cultural das pessoas e comunidades. Agregada a essas questões, tem-se a obrigação pela melhoria da qualidade do meio ambiente. Dessa forma, sugere-se como proposta de continuidade deste trabalho o desenvolvimento de indicadores referentes a eficiência das técnicas compensatórias de drenagem urbana, que poderão ser agregados a um sistema de apoio à decisão.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA N. P. **Hidrogramas experimentais de áreas alagadas da micro bacia do Rio Jacupiranguinha, Baixo Ribeira do Iguape, SP.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2007.

ALMEIDA T. A. **Impactos decorrentes das mudanças ocasionadas pelo uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica urbana da UFJF – Campus JF sobre o escoamento superficial.** Juiz de Fora, 2016. Disponível em : <<http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC-TAMIRIS1.pdf>> acesso em: 18 Out. de 2018

AROEIRA, R. M. Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte – 2008/2011, Atualização 2010. Belo Horizonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2010.

BAPTISTA, L. F. S.; GONÇALVES, L. M.; BARBASSA, A. P.; FELIPE, M. C.; TECEDOR, N. **Parâmetros urbanísticos contemporâneos na aplicação e concepção do LID (LowImpactDevelopment).** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Bento Gonçalves. Anais... Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

BAPTISTA, Márcio.; NASCIMENTO, Nilo.; BARRAUD, Sylvie. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana.** 1 ed. Porto Alegre, RS: Ed. Universidade / UFRGS – ABRH (Associação Brasileira de Recursos Hídricos), 2005.

BAPTISTA, Márcio; NASCIMENTO, Nilo; BARRAUD, Sylvie. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2ª. ed. Porto Alegre: ABRH (Associação Brasileira de Recursos Hídricos), 2011.

BATISTA, Marie EugénieMalzac. **Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para gestão urbana baseado em indicadores ambientais**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Urbana -mestrado -, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

BELO HORIZONTE. **Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PBH). Plano diretor de Belo Horizonte. Lei de uso e ocupação do solo: estudos básicos**. Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 1996.

BORSAGLI, A. **Qualquer semelhança não é mera coincidência: o destino dos rios urbanos que atravessam a capital**. Blog Curral Del Rey, 2010. Disponível em: <<http://curraldelrei.blogspot.com.br/2010/11/qualquer-semelhanca-nao-e-mera.html>>. Acesso em: 03 out. 2018.

BORSAGLI, A. **O Vale do Córrego do Leitão em Belo Horizonte: Contribuições da cartografia para a compreensão da sua ocupação**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA HISTÓRICA, 1. Anais. Paraty: SBCH. 2011.

BRITO, D. S. de. **Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2006.

BRITO, Débora Silva de. **Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem**. 2006. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

BUENO, L. F.; GALBIATTI, J. A.; BORGES, M. J. **Monitoramento de variáveis de qualidade da água do Horto Ouro Verde - Conchal – SP**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, 2005. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000300020>>. Acessado em: 20 de setembro de 2018.

Campana, N. A. e Tucci, C. E. M. **Estimativa da área impermeável de macrobacias urbanas**. *RBE – Revista Brasileira de Engenharia* (2006).

CANÇADO, Vanessa Lucena. **Consequências econômicas das inundações e vulnerabilidade: Desenvolvimento de metodologia para avaliação do impacto nos domicílios e na cidade**, 2009. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recurso Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

CANHOLI, Alúcio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2ª edição. Editora Oficina de Textos, 2014.

CARDOSO, Adriana Sales. **Desenvolvimento de metodologia para avaliação de alternativas de intervenção em cursos de água em áreas urbanas**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Departamento de Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

CARDOSO, Adriana Sales. **Proposta de metodologia para orientação de processos decisórios relativos a intervenções em cursos de água em áreas urbanas**. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

CASTRO, L. M. A. **Proposição de metodologia para a avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água**. 2007. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recurso Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

CERTU – Centre d'étudessurlesreseaux, lestransports, l'urbanisme et lesconstructions publiques (1998). **Techniques alternatives aux reseaux d'assainissement pluvial**. Lyon, France.

CHERNICHARO; C. A. L., COSTA; A. M. L. M. C. **Drenagem pluvial**. In: Saneamento – Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para Municípios. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG. vol. 2. 1995.

COELHO, G. A. **Utilização de Bacias de Detenção de Águas Pluviais em Planos Diretores de Macrodrenagem.** 2010. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

CÔRTEZ, J. M. **Sistemática de auxílio à decisão para a seleção de alternativas de controle de inundações urbanas.** 2009. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

COSTA, Maria Clelia Lustosa. **O discurso higienista definindo a cidade.** Mercator, Fortaleza, 2013.

Disponível em: <<http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/1226/522>>.

Acesso em: 01 de setembro de 2018.

EVANGELISTA, Janaína de Andrade. **Sistemática para avaliação técnica e econômica de alternativas de intervenções em cursos de água urbanos.** Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Departamento de Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

FIORI, Sibeles. **Indicadores urbanos: avaliação, adequação e aplicação em Passo Fundo – RS/Brasil.** 2006. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo- mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

FRANTZ, Milton Walter. **O Rio do Peixe e o Desenvolvimento Urbano da Cidade de Joaçaba**. SC. 2008. 126 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2008.

GRIBBIN, John E. **Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. Cengage Learning. São Paulo. SP. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente, 2016. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/5N7>>. Acesso em 22 de out. de 2018.

JÚNIOR, V. J. S.; SANTOS, C. O. **A evolução da urbanização e os processos de produção de inundações urbanas**. Estação Científica UNIFAP, Macapá, 2013.

MARQUES, E. C. **Da higiene à construção da cidade: o Estado e o saneamento no Rio de Janeiro**. História, Ciências, Saúde – Manguinhos, Rio de Janeiro, 1995. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/hcsm/v2n2/a04v2n2.pdf>>. Acesso em: 07 nov. de 2018.

MARTINS, L. G. B.. **Avaliação do potencial de aplicação de técnicas compensatórias em áreas urbanas consolidadas**. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

MASSARD-GUILBAUD, Genevieve; THORSHEIM, Peter. **Cities, environments, and european history**. Disponível em: <<http://juh.sagepub.com/cgi/content/abstract/33/5/691>>. Acesso em: 07 novembro 2018.

MENDONÇA, Eduardo Concesso. **Metodologia para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

MOURA, Priscilla Macedo. **Méthode d'évaluation des performances des systèmes d'infiltration de réseaux de ruissellement en milieu urbain**. 2008. 363 f. Tese (Doutorado) - Curso de Génie Civil, L'institut National Des Sciences Appliquées de Lyon, Lyon. France, 2008.

MOURA, Priscilla Macedo; BARRAUD, Sylvie; BAPTISTA, Márcio Benedito. **Metodologia para avaliação de sistemas de infiltração de águas pluviais urbanas – fase de concepção**. Revista de Gestão de Água da América Latina - Rega, Porto Alegre, 2010. Semestral.

OLIVEIRA, L.F.C. VIOLA, M.R.; PEREIRA, S.; MORAIS, N.R. **Modelos de predição de chuvas intensas para o Estado do Mato Grosso, Brasil**. Revista Ambiente e Água, Taubaté, v.6, n.3, 2011.

OTTONI, A. B. **Análise Crítica da Obra do Reservatório de Amortecimento ("Piscinão") da Praça Niterói, Rio de Janeiro-RJ e Proposição de Soluções com Sustentabilidade Ambiental para o Controle das Inundações na Região**, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <

<https://www.amigosdanatureza.org.br/eventos/data/inscricoes/3851/form157312798.pdf>>. Acesso em: 20 de out. de 2018.

PEREIRA, Ticianá Muniz. **Avaliação preliminar da capacidade de escoamento do trecho canalizado no terço superior do Córrego do São Pedro com auxílio da ferramenta HECRAS**. Dissertação (Graduação - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental.). Universidade Federal de Juiz de Fora, 2015.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil**. Brasília, DF: Departamento Nacional de Obras e Saneamento, 1957. 246p.

REIS, R. P. A.; OLIVEIRA, L. H.; SALES, M. M. **Sistemas de Drenagem na Fonte por Poços de Infiltração de Águas Pluviais. Ambiente Construído – Revista da ANTAC (Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído)**, v.8, n.2, 2008.

REIS, P. E. **O escoamento superficial como condicionante de inundação em Belo Horizonte, MG**: estudo de caso da sub-bacia do córrego do Leitão, bacia do ribeirão Arrudas. Dissertação (Mestrado em Geologia): Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

ROSA, Deyvid Wavel Barreto. **Resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica urbana à implantação de técnicas compensatórias de drenagem urbana**: Bacia do Córrego do Leitão, Belo Horizonte, Minas Gerais. Dissertação Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2017. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br>>. Acesso em: 20 de outubro de 2018.

SANTOS, Ana Clara Pereira Barbosa. **Proposição de abordagem para a avaliação do estado de alteração de cursos de água.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SOUZA, Marcos Ferreira de; OLIVEIRA, Renato Pires de; COELHO; Márcia Maria Lara P.; MOURA; Priscilla Macedo. **Segurança de barragens em reservatórios de controle de cheias de Belo Horizonte - MG.** Classificação conforme lei nº 12.334/2010. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, 10, 2014, SÃO PAULO. Anais do X Encontro Nacional de Águas Urbanas. Porto Alegre: ABRH, 2014.

SUDECAP. **Procedimento padrão para elaboração de Projeto de Drenagem Pluvial.** Belo Horizonte, PBH, 2008.

TOMINAGA, Erika Naomi de Souza. **Urbanização e cheias:** medidas de controle na fonte. 2013. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki; BUENO, Rui Cesar Rodrigues. **Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário no estado de São Paulo.** In: ABES. Saneamento Ambiental Brasileiro: utopia ou realidade? Rio de Janeiro, ABES, 2005. p.1-12, illus, tab.

TUCCI, Carlos E. M.; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mario T. de. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre, RS: Ed. Universidade / UFRGS – ABRH (Associação Brasileira de Recursos Hídricos). 2015.

VENDRAME, Fabiano.; ALVES, M.A. S.; SCOFIELD, Graziela.(2000). **Aspectos da evolução da urbanização e dos problemas de inundação em São José dos Campos**. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Porto Alegre - RS, 2000.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Volume 1. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG. Belo Horizonte, 1995

ANEXO I

	DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL	
	PESQUISA DE INFORMAÇÕES DE SISTEMAS DE DRENAGEM PLUVIAL	
	Cidade:	Estado:
Resp.p/Inf.:	Data:	
<p>1 - A cidade possui sistema de drenagem pluvial? () SIM () NÃO</p> <p>2 - Se a cidade possuir sistema de drenagem pluvial, qual a porcentagem de atendimento em relação a área total da cidade ou população?</p> <p>Porcentagem de atendimento: % da () ÁREA () POPULAÇÃO</p> <p>3 - O sistema de drenagem é composto por: (marque todas as opções existentes)</p> <p style="padding-left: 20px;">() Sarjetas</p> <p style="padding-left: 20px;">() Bocas de Lobo</p> <p style="padding-left: 20px;">() Poços de Visita</p> <p style="padding-left: 20px;">() Caixas de Passagem</p> <p style="padding-left: 20px;">() Redes Tubulares</p> <p style="padding-left: 20px;">() Galerias Celulares</p> <p style="padding-left: 20px;">() Canais Abertos</p> <p style="padding-left: 20px;">() Canais Fechados</p> <p style="padding-left: 20px;">() Técnicas Compensatórias</p> <p>4 - Se existirem técnicas compensatórias de drenagem pluvial urbana, quais estão presentes na cidade? (marque todas as opções existentes)</p> <p style="padding-left: 20px;">() Sistemas individuais nas edificações:</p> <p style="padding-left: 40px;">() Telhado verde</p> <p style="padding-left: 40px;">() Sistema de infiltração</p> <p style="padding-left: 40px;">() Reservatório de detenção</p> <p style="padding-left: 40px;">() Reuso</p> <p style="padding-left: 40px;">() Outros, quais?</p> <p style="padding-left: 40px;">()</p> <p style="padding-left: 40px;">()</p> <p style="padding-left: 40px;">()</p> <p style="padding-left: 20px;">() Sistemas públicos</p> <p style="padding-left: 40px;">() Pavimento permeável</p> <p style="padding-left: 40px;">() Trincheiras de infiltração</p> <p style="padding-left: 40px;">() Valas de infiltração</p> <p style="padding-left: 40px;">() Poços de infiltração</p> <p style="padding-left: 40px;">() Reservatório de detenção</p> <p style="padding-left: 40px;">() Bacias de detenção (Piscinão)</p> <p style="padding-left: 40px;">() Outros, quais?</p> <p style="padding-left: 40px;">()</p> <p style="padding-left: 40px;">()</p> <p style="padding-left: 40px;">()</p> <p>5 - Observações</p>		
Setor de trabalho do responsável pelas informações:		
e-mail do responsável pelas informações:		
Telefone do responsável pelas informações:		