



Periódico da Universidade Vale do Rio Verde
ISSN: 2526-690X
v. 3 | n. 1 | 2019

Laura Lizardo Niquini

Graduanda em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC
laura.niquini27@gmail.com

Aline de Araujo Nunes

Engenharia Agrícola e Ambiental, Professora Doutora Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP/ Departamento de Engenharia Urbana
aline.nunes@ufop.edu.br

Bárbara Santana Pontes

Engenharia Civil
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC
barbara.pontes@livre.com

Carolina Patrício de Lima Lopes

Engenharia Civil
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC
carolpllopes@hotmail.com

Joyne Christiny de Souza

Engenharia Civil
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC
joynesouza@hotmail.com

Juliana Muzzi Drummond

Engenharia Civil
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC
juliana_drummond13@hotmail.com

Rafael Ruas Gonçalves

Engenharia Civil
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC
rayruas@gmail.com

MODELAGEM HIDROLÓGICA COM O USO DE INFRAESTRUTURAS VERDES: ESTUDO DE CASO PARA A BACIA DO CÓRREGO RESSACA, SITUADA NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE

Resumo: Com o aumento da urbanização nas cidades brasileiras, de maneira desordenada, é mais frequente a ocorrência de inundações, devido ao aumento da taxa de impermeabilização do solo e da vazão de escoamento. Neste sentido, o uso de técnicas compensatórias, também conhecidas como “infraestruturas verdes”, ganhou espaço a partir dos anos 70. Este método de drenagem procura mitigar os problemas de urbanização através da retenção ou infiltração das águas precipitadas. Considerando o exposto, este trabalho propõe a análise do impacto do uso de telhados verdes e pavimentos permeáveis no hidrograma de cheias da Bacia do Córrego do Ressaca, localizada na região da Pampulha em Belo Horizonte-MG, visando tentar mitigar os danos causados pelo processo de drenagem atual. Utilizando o software ABC-6 foram modelados dois cenários distintos para obter a viabilidade da implantação dessas técnicas, sendo modeladas a situação atual da bacia (Cenário 1), sem nenhuma técnica, e um cenário que recebeu a instalação de “infraestruturas verdes” (Cenário 2), para tempos de retorno de 10 e 50 anos. Após a modelagem, observou-se a redução da vazão de pico e do volume escoado para os tempos de retorno (TR) de 10 e 50 anos, porém para o TR de 10 anos o índice de redução é maior. A técnica que mais contribuiu para tais resultados foi o telhado verde, pois a bacia apresentou maior potencial para a instalação desta técnica, se comparado ao potencial para receber pavimentos permeáveis.

Palavras-chave: Telhado verde. Pavimento Permeável. Técnicas Compensatórias. Hidrograma de cheias.

HYDROLOGICAL MODELING WITH THE USE OF GREEN INFRASTRUCTURES: A CASE STUDY FOR THE RESSACA STREAM BASIN, LOCATED IN THE CITY OF BELO HORIZONTE

Abstract: With the rise of the Brazilian cities without urban planning, flood frequency is becoming more common. The rise of flood frequency causes several losses both in human life and monetary resources. Due to this fact, during the decade of 1970. This new system was called ‘Green Structures’, and aims to mitigate the urbanization’s consequences – increase of flooding - by the rain retention or the increasing of rain permeation. This study proposes to analyze the impact of using green roofs and porous pavements in Córrego do Ressaca’s water parting, located at Belo Horizonte, which suffers an intense urbanization process. Using ABC-6 software, two modeling scenarios were simulated, one with Green Structures (Scenario 1) and one without (Scenario 2), both considering a 10-year and a 50-year period. After the modeling, it was noticed a reduction on the peak flow and of the drained volume, for the period of 10 and 50 years, with a bigger reduction for the 10-year period. The

green structure that had the better results was the green roofs, due to the fact that the number of houses that could receive this technique was higher than the number of streets that could be applied the porous pavements.

Keywords: Green roof. Permeable pavement. Hydrologic models. Hydrograph of flood.

Recebido em: 10/06/2019 - Aprovado em: 24/06/2019 - Disponibilizado em: 30/07/2019

INTRODUÇÃO

A relação das cidades com os cursos d'água vem se alterando com o decorrer dos anos. A proximidade entre rios e aglomerações urbanas era considerada como fator determinante para o desenvolvimento das cidades, uma vez que os cursos d'água forneciam a água para o abastecimento, eram o corpo receptor de resíduos e facilitavam a comunicação e transporte. As eventuais inundações eram relativamente bem aceitas como uma forma de compensação pelos benefícios advindos da água junto à cidade (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002).

De acordo com Silveira (1998), o crescimento das aglomerações urbanas a partir do século XIX evidenciou os problemas resultantes da precariedade da infraestrutura de controle da presença de águas nas cidades. Em paralelo, a partir da segunda metade do século XX ocorreu, em escala mundial, a intensificação da concentração da população em áreas urbanas, a qual deverá superar 60% no ano 2025, segundo IAURIF (1997). No Brasil,

este fenômeno não é diferente, sendo que a população urbana já supera 84%, segundo dados censitários do IBGE (2010).

Os impactos hidrológicos da urbanização já foram amplamente descritos na literatura técnica: a redução dos processos de infiltração, com o consequente aumento dos volumes escoados superficialmente e a aceleração do escoamento, que vem acentuar os picos dos hidrogramas. A combinação dos aspectos urbanização e canalização, sendo esta considerada ainda nos dias de hoje como uma alternativa tecnicamente viável para solucionar os problemas de drenagem, leva à obsolescência gradual das redes de drenagem e ao aumento na frequência de inundações.

Considerando que os sistemas de drenagem clássicos não estão sendo suficientes para drenar as águas pluviais que escoam nas cidades, vem sendo criadas novas técnicas para mitigar os problemas associados à drenagem urbana. Pioneiramente aplicadas na Europa e na América do Norte, onde receberam a denominação de *Low Impact Development*

(LID), com a tradução de Desenvolvimento de Baixo Impacto, essas são técnicas para manejo de águas pluviais e também de abastecimento. No Brasil, este novo conceito emergiu com a nomenclatura de Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana (BAPTISTA *et al.*, 2011).

Nesse contexto, as técnicas alternativas ou compensatórias procuram atenuar os problemas da urbanização, por meio da retenção ou infiltração das águas precipitadas, procurando reproduzir as características originais da área, ou seja, anteriores ao processo de urbanização, sem, contudo, prejudicar a funcionalidade da região (MOURA, 2004). Muitas das vezes essas tecnologias são combinadas com os sistemas tradicionais de drenagem, existindo estudos que indicam que as técnicas compensatórias funcionam melhor quando acompanhadas das tradicionais (FOSTER *et al.*, 2011).

Nesse contexto, alguns dispositivos de fácil instalação em conjunto com a paisagem urbana são: os jardins de chuva, também chamados de sistemas de biorretenção; as trincheiras de infiltração, que são estruturas longitudinais construídas para facilitar a infiltração das águas pluviais; o pavimento permeável, que construído com materiais permeáveis possibilita a infiltração da água; os poços de infiltração, que aumentam a capacidade

de infiltração do solo e permitem um armazenamento no desnível produzido; os reservatórios individuais e telhados verdes ou armazenadores, que apesar de terem um efeito menos expressivo no controle de enchentes, agregam uma série de benefícios para a cidade (ROSA, 2017).

Neste trabalho foram selecionadas as técnicas “Pavimentos Permeáveis” e “Telhados Verdes” a fim de simular a sua implantação em uma bacia urbana. Dessa forma, são apresentados na sequência os seus mecanismos de funcionamento, critérios de seleção e formas de aplicação.

No que se refere aos pavimentos permeáveis, segundo Urbonas e Stahre (1993) apud Araujo *et al.* (2000) estes são mecanismos de infiltração que permitem a passagem do escoamento superficial para um reservatório de pedras que se localiza sob a superfície do terreno. Sua utilização visa reduzir a vazão drenada superficialmente, melhorar a qualidade da água e contribuir para o aumento da recarga de água subterrânea. Podem ser classificados em três tipos: pavimento de concreto poroso; pavimento de asfalto poroso; e pavimento de blocos de concreto vazado, preenchidos com material granular, como areia ou vegetação rasteira.

De acordo com Araújo *et al.* (2000), os pavimentos permeáveis são feitos de materiais que permitem a infiltração de água ao invés do escoamento

superficial. São formados por duas camadas de agregado (uma de agregado fino ou médio e a segunda composta por agregados graúdos), associando-se, ainda, a camada permeável. A utilização desta técnica não apresenta grandes restrições, exceto quando o solo é extremamente impermeável ou quando o nível do lençol freático for alto, além de questões associadas ao tráfego local.

Os telhados verdes, por sua vez, são coberturas que remetem ao princípio de recomposição vegetal, visando recuperar a qualidade ambiental. Sendo assim, essa tecnologia utiliza a cobertura de edificações, onde são implantadas camadas de isolamento, impermeabilização, drenagem, filtragem, substrato e vegetação, a fim de simular uma superfície com solo vegetado original (CAETANO *et al.*, 2010).

O sistema de telhados verdes auxilia na drenagem das cidades, uma vez que o escoamento superficial é reduzido, de forma a promover a retenção de parte da água pluvial. Além disso, relaciona-se ao cenário atual de mudanças climáticas, uma vez que pode reduzir os efeitos de ilhas de calor e aumentar a biodiversidade local (NUNES, 2018).

De acordo com Neto (2012), avaliando-se seus componentes, os telhados verdes podem ser classificados em três tipos: intensivo (possui espessura

vegetal superior a 250 cm e elevados custos); semi-intensivo (possui espessura vegetal entre 5 e 100 cm e custo mediano) e extensivo (possui espessura vegetal entre 5 e 15 cm, além de baixos custos financeiros). Além disso, deve-se avaliar a inclinação do telhado para uma melhor locação e escolha das estruturas para vegetação, a fim de minimizar reforços na estrutura, evitando eventuais gastos.

No que se refere à implantação de telhados verdes, experiências apresentadas em trabalhos anteriores analisam esta estrutura também em relação à minimização dos impactos decorrentes do aumento da temperatura em centros urbanos, que vão além do armazenamento de águas pluviais. Um exemplo de trabalho foi desenvolvido na Universidade de São Paulo (USP), comparando dois prédios da capital paulista, um com área verde e outro com laje de concreto, sendo então verificado que a temperatura no topo do edifício com jardim ficou até 5,3 graus Celsius (°C) mais baixa. Também houve ganho de 15,7% em relação à umidade relativa do ar (CATUZZO, 2013).

Considerando, então, a relevância em termos de aplicabilidade de infraestruturas verdes, muitas iniciativas vêm sendo adotadas em várias cidades do Brasil. Em Belo Horizonte, por exemplo, existem alguns esforços por parte do poder público para promover o uso de técnicas

compensatórias. Um exemplo é a implantação de reservatórios individuais, já prevista no município em alguns casos desde 1996, com a aprovação da Lei Municipal nº 7.166/1996, referente às normas e condições de parcelamento, uso e ocupação do solo (BELO HORIZONTE, 1996). Segundo esta lei, fica permitida a impermeabilização de até 100% do terreno, exceto para zonas de proteção e de proteção ambiental, desde que sejam instaladas caixas de retenção pluvial de volume total igual a 30 litros por metro quadrado de área impermeável excedente. Contudo, Drumond, Coelho e Moura (2013) concluíram que o volume proposto pela legislação não é suficiente para amortecer o acréscimo da vazão de pico ocasionado pela total impermeabilização dos terrenos.

Desde 2015 tramita na Câmara Municipal de Belo Horizonte o Projeto de Lei nº 1.749, que consiste no novo Plano Diretor. Uma das mudanças propostas é a exigência de áreas permeáveis nos terrenos, que atualmente pode ser substituída com a instalação de reservatórios de captação de águas pluviais (BELO HORIZONTE, 2015). Adicionalmente, destaca-se o Projeto de Lei nº 963/2014, que propõe a instalação obrigatória de telhados verdes em novos empreendimentos com mais de três pavimentos, em tramitação atualmente na

Câmara Municipal (BELO HORIZONTE, 2014).

Em âmbito nacional, a obrigatoriedade de telhados verdes em novos empreendimentos já é realidade no Estado da Paraíba, segundo a Lei Estadual nº 10.047/2013 (PARAÍBA, 2013) e no município de Recife, onde adicionalmente é obrigatória a instalação de reservatórios de águas pluviais de acumulação ou retardo em lotes com área superior a 500 m², que possuam área impermeabilizada superior a 25% da área total (RECIFE, 2015).

Atualmente, encontra-se também em tramitação na Câmara Municipal de Belo Horizonte o Projeto de Lei nº 179/2017 (BELO HORIZONTE, 2017), que propõe a instituição de um desconto progressivo no IPTU de imóveis que adotarem medidas de redução de impacto ambiental e eficiência energética. São incluídas diversas medidas voltadas ao manejo sustentável de águas pluviais nas ações e práticas elegíveis para os descontos, das quais se destacam a utilização de pavimentação permeável em no mínimo 60% da área de passeio, construção de valas de infiltração e reservatórios para captação de águas pluviais, ampliação de áreas permeáveis além do exigido por lei e implantação de telhados verdes. Tal incentivo já é realidade em diversos municípios brasileiros, como em Santos, Guarulhos,

Sorocaba e Curitiba (SANTOS, 2015; JAHNKE; WILLANI; ARAÚJO, 2013).

Em linha gerais, visualiza-se que o planejamento de uma infraestrutura verde propicia a integração da natureza na cidade, favorecendo também a mitigação de impactos ambientais e a adaptação para enfrentar os problemas causados pelas alterações climáticas, como por exemplo: chuvas mais intensas e frequentes, aumento das temperaturas (ilhas de calor), desertificação, perda de biodiversidade, entre outros (HERZOG; ROSA, s.d.; AHERN, 2009; HERZOG, 2010).

Considerando que um dos objetivos deste trabalho é simular a implantação destes dispositivos em uma bacia hidrográfica do município de Belo Horizonte, a modelagem hidrológica faz-se necessária, uma vez que a representação dos processos hidrológicos de transformação da precipitação em escoamento, infiltração e evaporação será de fundamental importância.

A modelagem hidrológica é a representação dos sistemas hidrológicos, da transformação da precipitação em escoamento, infiltração e evaporação. Atualmente, diversos modelos hidrológicos que realizam transformação chuva-vazão têm sido aplicados na simulação de vazões de cheias, dentre os quais podem ser citados: *Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS), *Soil and*

Water Assessment Tool (SWAT), *TOPography-based hydrological MODEL* (TOPMODEL), *Model for Urban Sewers* (MOUSE), *Storm Water Management Model* (SWMM), *Análise de Bacias Complexas (ABC-6)* (FORMIGA et al., 2016).

A escolha do modelo mais conveniente deve-se fundamentar em alguns parâmetros, tais como: objetivos da modelagem, características da área de estudo, disponibilidade de dados, proximidade com o modelo e aspectos econômicos (BENDIENT, HUBER; VIEUX, 2008).

O *software* ABC-6 foi selecionado para este trabalho pois, embora tenha sido desenvolvido com finalidade didática, tem sido amplamente utilizado por profissionais da área. O programa utiliza de “métodos sintéticos para o dimensionamento de vazões máximas em pequenas bacias sem dados (perfil tipicamente urbano e de pequenas bacias rurais), facilitando, assim, o planejamento quando há escassez de informações ou quando não se tem dados específicos da região” (LABSID, 2015).

Dias (2015) realizou um estudo na microbacia hidrográfica do córrego Jataí localizado em Uberlândia, MG, utilizando-se do *software* ABC-6 para simular a implantação de um reservatório de amortecimento próximo ao exutório da

microbacia, considerando também os reservatórios já existentes. Já Burchales (2007) utilizou o programa como ferramenta em uma perícia ambiental que objetivava analisar os impactos gerados pela implantação de um empreendimento habitacional de interesse social, na qual foram realizadas quatro simulações que consideraram cenários distintos, tais como aumento da área impermeabilizada e a implantação de trincheiras de infiltração, que foram posteriormente comparadas.

Neste contexto, estudos de modelagem hidrológica têm sido realizados com o objetivo de analisar o impacto da implantação de diferentes técnicas compensatórias na drenagem urbana, apoiando o planejamento sustentável das bacias. Considerando ainda a utilização de outros softwares de modelagem, Versini et al. (2015), por exemplo, simularam a implantação de telhados verdes em uma bacia urbana com o uso do SWMM e constataram uma redução da vazão de pico de até 60%, considerando a implantação de telhados verdes em 100% das áreas aptas a receber este tipo de técnica.

Drummond (2012) analisou, também com o uso do SWMM, a implantação de microrreservatórios em lotes de uma bacia de 57 hectares localizada em Belo Horizonte, obtendo uma redução de 50% da vazão de pico em

relação ao cenário que considera a bacia totalmente impermeabilizada. Também em Belo Horizonte, Rosa (2017) avaliou a resposta hidrológica da bacia do córrego Leitão a eventos chuva-vazão em cenários com implantação de infraestruturas verdes em 100%, 50% e 10% da área impermeável da bacia, obtendo reduções médias na vazão de pico de 60%, 30% e 5%, respectivamente.

As abordagens citadas atribuem às águas urbanas um papel crescente na sociedade, agregando-se diversas funções que extrapolam os aspectos hidráulicos e sanitários, únicos originalmente considerados nos sistemas clássicos de drenagem. De forma geral, na simulação de implantação de técnicas compensatórias nos diversos estudos citados, foram observadas reduções expressivas das vazões de pico e do volume escoado. Ainda que essas reduções possam ser consideradas superestimadas, a modelagem hidrológica destas técnicas é uma ferramenta eficaz para a avaliação dos benefícios hidrológicos de implantação das mesmas (MCCUTCHEON; WRIDE, 2013).

Assim sendo, este trabalho propõe analisar o hidrograma de cheias da Bacia do Córrego Ressaca, localizada na cidade de Belo Horizonte - MG, mediante a proposição do uso de técnicas compensatórias. A escolha desta bacia está

associada à crescente preocupação com um potencial aumento da ocorrência de inundações na região.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

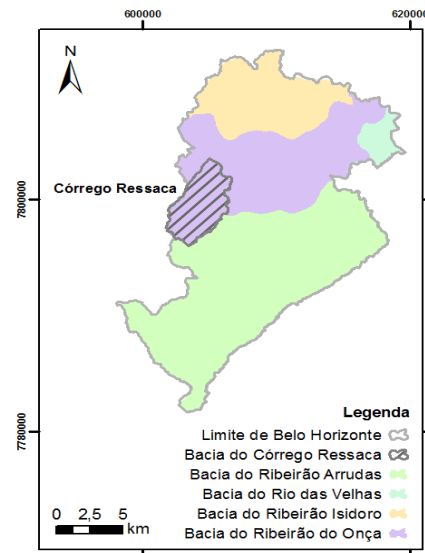
A cidade de Belo Horizonte, capital de Minas Gerais, possui uma área de 331,4 Km² e população estimada em 2,5 milhões de habitantes (IBGE, 2010), sendo dividida em nove regiões: Venda Nova, Norte, Pampulha, Nordeste, Noroeste, Leste, Centro-Sul, Oeste e Barreiro.

Situada na região da Pampulha, a Bacia do Ressaca, conforme apresentado na Figura 1, é um dos principais afluentes da Lagoa da Pampulha. O córrego nasce na cota 920 m, dispondo de uma extensão de 8,8 Km, desde a sua nascente até o seu encontro com o córrego Sarandi (CPRM, 2001). Encontra-se em área de várzea, com grande densidade populacional, onde as vias urbanas estão situadas em cotas inferiores à de inundação. Dessa forma, é uma região que apresenta constantes alagamentos em períodos chuvosos, o que acarreta inúmeros prejuízos para a população (LIMA et al., 2016).

Segundo a Prefeitura de Belo Horizonte (PBH), a bacia apresenta uma área de 2.038,7 hectares, com uma população de 155.839 habitantes. Por se

tratar de uma área bastante populosa, o córrego Ressaca, junto ao córrego Sarandi, são os principais responsáveis pela poluição da Bacia da Pampulha.

Figura 1 - Bacia do Córrego Ressaca



Fonte: Santos (2017)

Modelagem hidrológica com o uso do software ABC-6

A modelagem hidrológica foi realizada com o uso do *software* ABC-6 na versão 1.34. A primeira etapa da modelagem no ABC-6 foi a construção da rede hidrográfica, sendo necessário indicar todas as sub-bacias com as suas características principais, tais como: área de drenagem, comprimento do curso d'água principal, declividade média do curso d'água e coeficiente de rugosidade do canal. Neste modelo foram definidas, no total, 9 sub-bacias.

Nesse sentido, foi utilizado o software ArcGis em sua versão 10.3 para cálculo dos dados de entrada necessários para o ABC-6, sendo estes apresentados na Tabela 1. Os shapes utilizados no ArcGis

foram fornecidos pela Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte (PRODABEL, 2016).

Tabela 1 - Parâmetros para Modelagem Hidrológica da Bacia do Córrego Ressaca

| Sub-bacia | Área de Drenagem (km ²) | Comprimento do Curso D'Água Principal (m) | Declividade Média do Curso D'água Principal (m/km) |
|-------------|-------------------------------------|---|--|
| Sub-bacia 1 | 4,14 | 4260 | 29,39 |
| Sub-bacia 2 | 4,60 | 3550 | 29,19 |
| Sub-bacia 3 | 3,58 | 2800 | 23,88 |
| Sub-bacia 4 | 1,78 | 2730 | 8,73 |
| Sub-bacia 5 | 1,28 | 1120 | 33,14 |
| Sub-bacia 6 | 0,73 | 400 | 19,90 |
| Sub-bacia 7 | 3,04 | 3060 | 18,44 |
| Sub-bacia 8 | 0,49 | 870 | 4,24 |
| Sub-bacia 9 | 0,87 | 1020 | 25,92 |

As principais características dos componentes hidrológicos também precisam ser inseridas no modelo. Para a estimativa do hidrograma de cheias foi selecionado o método da Chuva Excedente SCS – *Soil Conservation Service* e o modelo do Hidrograma Triangular do SCS, sendo necessário, portanto, a determinação do *Curve Number* (CN) de cada sub-bacia. O CN é um parâmetro empírico utilizado em hidrologia para obter previsões de escoamento superficial, ou de infiltração, em função do volume excedente de precipitação.

Para tal, foi consultado o estudo desenvolvido por Cândido (2015), que

avaliou o desempenho de um modelo para a bacia do Córrego Ressaca através da comparação dos dados de vazões simulados com os dados observados em uma estação fluviométrica instalada em um ponto mais a jusante na bacia, ou seja, um modelo calibrado. A autora utilizou o mapa de uso do solo do município de Belo Horizonte, elaborado por Teixeira e Moura (2014). Os CN's utilizados são apresentados na Tabela 2.

As precipitações de projeto foram obtidas por meio da equação IDF de Villela e Mattos (1975), desenvolvida para o município de Belo Horizonte e

disponibilizada no âmbito do software ABC-6, para períodos de retorno de 10 e 50 anos.

A precipitação com duração crítica, isto é, aquela que produziu as maiores

vazões de pico na seção de exutório, foi calculada com a soma do tempo de concentração de todas as sub-bacias, totalizando 96 minutos.

Tabela 2 – CN das sub-bacias do Córrego Ressaca

| Sub-bacia | CN |
|-------------|----|
| Sub-bacia 1 | 94 |
| Sub-bacia 2 | 96 |
| Sub-bacia 3 | 97 |
| Sub-bacia 4 | 94 |
| Sub-bacia 5 | 91 |
| Sub-bacia 6 | 95 |
| Sub-bacia 7 | 94 |
| Sub-bacia 8 | 96 |
| Sub-bacia 9 | 94 |

Fonte: Cândido (2015).

As técnicas compensatórias que foram propostas e hipoteticamente instaladas nas sub-bacias nas etapas posteriores, de acordo com os cenários que serão definidos, também demandaram uma série de análises específicas para cada uma delas. Para tal foram consideradas as recomendações de Rossman (2015), Schueler (1987) e Woods Ballard et al. (2015), que serão definidas posteriormente.

Construção dos Cenários de Modelagem Hidrológica

Foram propostos dois cenários que visam comparar as situações anterior e posterior à adoção de técnicas

compensatórias, ou seja, cenários que buscam apresentar a redução em termos de vazão de pico e volume escoado quando da adoção de infraestruturas que aumentam o armazenamento e infiltração da água.

Considerando, então, a realidade dinâmica da cidade de Belo Horizonte, assim como as iniciativas em termos de Leis e Projetos de Leis apresentadas na etapa de revisão bibliográfica, são definidos, na sequência, os cenários propostos:

- Cenário 1: retrata as condições atuais da bacia, conforme descrito no item 3.2;

- Cenário 2: considera a implantação de pavimentos permeáveis e telhados

verdes em 100% das áreas disponíveis para tais usos.

Dessa forma, serão definidos na sequência os parâmetros utilizados para identificação das áreas com potencial em receber as técnicas compensatórias selecionadas, assim como o método utilizado para inserção destas técnicas no modelo ABC-6.

Parâmetros para modelagem das técnicas compensatórias e seleção das áreas disponíveis para implantação

Ferramentas de geoprocessamento foram aplicadas para o mapeamento das áreas com potencial para implantação de técnicas compensatórias. Foram fornecidos pela Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte (Prodabel) os arquivos georreferenciados da base topográfica do município de Belo Horizonte, contendo arruamentos, quadras, lotes, edificações, praças, rede de drenagem, bacias e sub-bacias hidrográficas, o que permitiu a representação precisa da ocupação da bacia do córrego Ressaca.

Na sequência são apresentados todos os critérios utilizados para seleção das áreas com potencial para implantação das técnicas e os parâmetros de entrada para cada infraestrutura no ABC-6.

Pavimentos permeáveis

Na implantação de técnicas compensatórias que promovem a infiltração da água no solo, devem ser consideradas as restrições relacionadas à profundidade do lençol freático e à condutividade hidráulica do solo.

Conforme Costa (2002), a profundidade do lençol na região é, quase sempre, maior do que cinco metros, tendendo a reduzir nas proximidades do leito dos cursos d'água. Dessa forma, de acordo com Rosa (2017), exigiu-se uma distância mínima de 30 metros dos canais para implantação das técnicas de infiltração. Considerando ainda que a condutividade hidráulica normalmente exigida para aplicação de técnicas de infiltração varia de 10^{-4} m/s a 10^{-6} m/s, e que a capacidade de infiltração associada à litologia da bacia é da ordem de 10^{-6} m/s (COSTA, 2002), foi estabelecido que essas estruturas podem promover o armazenamento e a infiltração parcial da precipitação afluyente (WOODS BALLARD et al., 2015).

Os critérios para implantação dessa técnica variam muito de acordo com as características de relevo e tráfego do local onde se pretende fazer a pavimentação. Geralmente, observa-se também alguns critérios como: declividade longitudinal máxima do terreno de 5% e largura mínima

da via de 12 m (WOODS BALLARD et al., 2015; SCHUELER, 1987). Os pavimentos permeáveis podem ser projetados para suportar maiores volumes de tráfego, desde que os elementos estruturais sejam devidamente dimensionados (WOODS BALLARD et al., 2015).

Neste contexto, a escolha das áreas para implantação de pavimentos permeáveis seguiu os seguintes procedimentos: mapeamento das vias por declividade média (da via e do entorno), seleção das vias com declividade menor ou igual a 5%, largura maior que 12 metros e distância dos cursos d'água maior que 30 metros.

Telhados verdes

A instalação dessa técnica é bastante flexível, tendo em vista que existem diversas maneiras de fazer a implantação, variando de acordo com o local a ser implantado. Em termos de estruturas, a avaliação da capacidade da edificação que vai receber o telhado verde é o principal critério (SAMPLE; DOUMAR, 2013).

Para a escolha de áreas para implantação de telhados verdes, prosseguiu-se o seguinte mecanismo: seleção das edificações com área de cobertura maior ou igual a 100 m², exclusão das edificações com telhados coloniais. Buscou-se, com esse método de

seleção, a exclusão de telhados muito inclinados e de edificações com restrições estruturais.

Parâmetros de entrada para as infraestruturas verdes no ABC-6

Para a modelagem hidrológica da bacia com a implantação das infraestruturas verdes, correspondente ao Cenário 2, modificou-se o valor do *Curve Number (CN)* para as áreas com potencial em receber estas infraestruturas, ou seja, o valor de CN foi recalculado para cada sub-bacia por meio de uma média ponderada, conforme apresentado na Equação 1.

$$CN_{\text{médio}} = \frac{A_{tv} * CN_{tv} + A_{pp} * CN_{pp} + A_a * CN_a}{\sum \text{Areas}} \quad (1)$$

Onde:

A_{tv} = Área com potencial para implantação de telhado verde por sub-bacia;

CN_{tv} = CN referente ao telhado verde;

A_{pp} = Área com potencial para implantação de pavimento permeável por sub-bacia;

CN_{pp} = CN referente ao pavimento permeável;

A_a = Área restante da sub-bacia, correspondente ao cenário atual; e

CN_a = CN referente ao cenário atual da sub-bacia (Tabela 2).

Considerando o exposto, utilizou-se CN 86 para telhados verdes, valor recomendado Jobim (2013), e CN 91 para pavimentos permeáveis, conforme recomendado por Tucci (1993). Calculou-se, então, o novo CN para cada sub-bacia a partir da Equação 1, sendo os valores apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – CN das sub-bacias com implantação de técnicas compensatórias

| Sub-bacia | CN |
|-------------|----|
| Sub-bacia 1 | 92 |
| Sub-bacia 2 | 93 |
| Sub-bacia 3 | 94 |
| Sub-bacia 4 | 92 |
| Sub-bacia 5 | 90 |
| Sub-bacia 6 | 93 |
| Sub-bacia 7 | 93 |
| Sub-bacia 8 | 93 |
| Sub-bacia 9 | 92 |

RESULTADOS E DISCUSSÃO

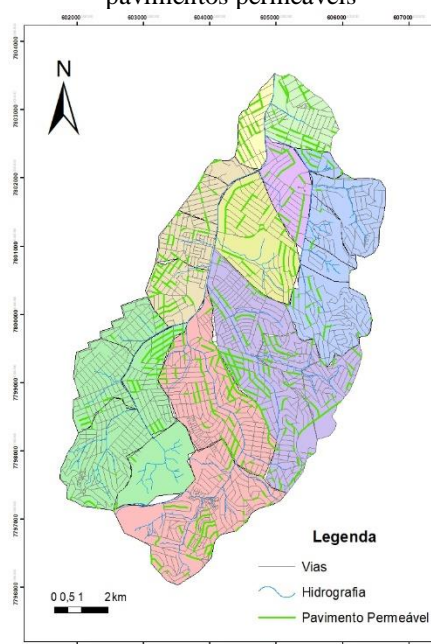
Seleção das áreas disponíveis para implantação de técnicas compensatórias

Conforme relatado, para a simulação de implantação das técnicas compensatórias selecionadas – pavimentos permeáveis e telhados verdes - nas áreas disponíveis, no âmbito da bacia do Córrego Ressaca, baseou-se em parâmetros como largura e inclinação da via, afastamento do curso d'água, área de cobertura e finalidade da edificação, a partir de bases cartográficas fornecidas pela PRODABEL (2016).

As áreas que se mostraram mais propícias para implantação de pavimentos permeáveis e apresentaram maior concentração dessas estruturas foram as regiões norte e central da bacia, mais especificamente os bairros Itatiaia,

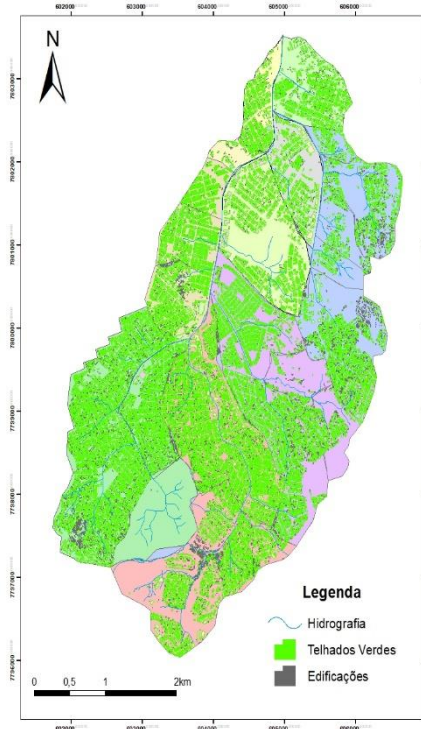
Serrano, Castelo, Paquetá, Itacolomi, Alípio de Melo, Patrocínio e Inconfidência, que são as regiões que apresentam maior concentração de trechos com declividades inferiores a 5%. Neste contexto, a Figura 2 apresenta as áreas disponíveis para alocação de pavimentos permeáveis.

Figura 2 - Áreas disponíveis para implantação de pavimentos permeáveis



Complementarmente, as áreas disponíveis para telhados verdes são apresentadas na Figura 3. Observa-se que há maior concentração de áreas disponíveis para telhados verdes na região central da bacia, que abrange os bairros Glória, Alípio de Melo, São Salvador e Jardim São José. Vale ressaltar que a Figura 3 apresenta a subdivisão da bacia em 23 sub-bacias hidrográficas, mas para a modelagem hidrológica as mesmas foram conjugadas em 9 sub-bacias, conforme apresentado na etapa metodológica.

Figura 3 - Áreas disponíveis para implantação de telhados verdes



Após o levantamento das áreas adequadas para implantação das técnicas compensatórias, foi contabilizada a área total para instalação de telhados verdes, em cada sub-bacia, a largura e o comprimento

das vias adequadas para instalação de pavimentos permeáveis e calculada a área total dessas vias em cada sub-bacia. As áreas com potencial para receber o telhado verde representam 24% da área total da bacia, como mostra a Figura 4, e 5% do total dessa área poderia receber pavimento permeável. Na Figura 5 são apresentadas as áreas tratadas.

Figura 4- Percentual de área tratada por técnica em cada sub-bacia

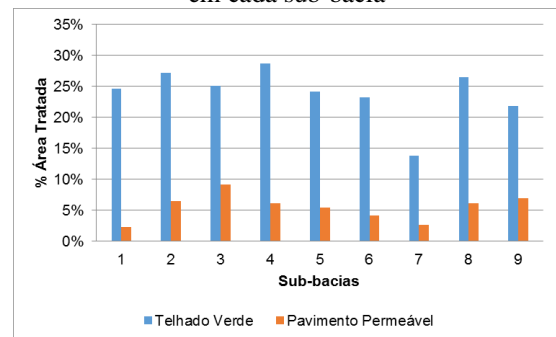
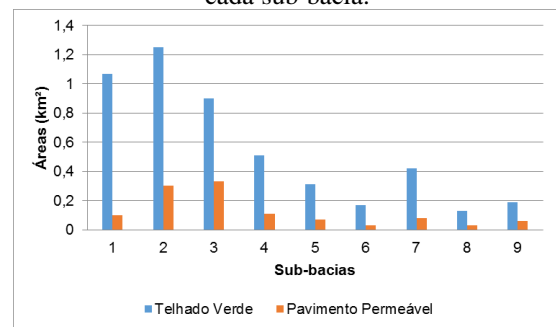


Figura 5 – Total de área tratada por técnica em cada sub-bacia.



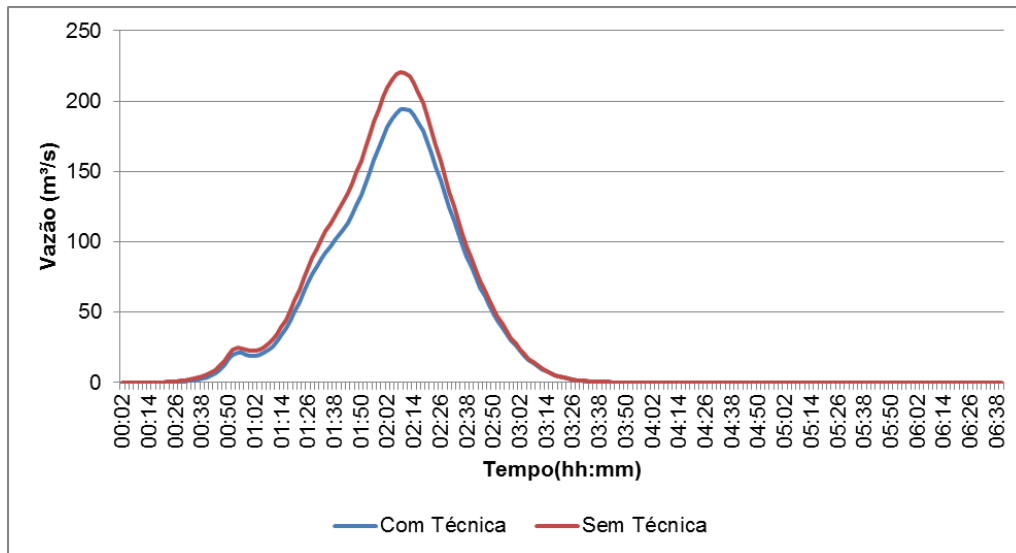
Modelagem Hidrológica dos Cenários Propostos

Os hidrogramas no exutório da bacia para a precipitação de projeto de duração de 96 minutos e período de retorno de 10 anos são apresentados na Figura 6, onde é possível identificar uma redução de 11,8%

entre a vazão de pico no cenário atual, 234,9 m³/s, e a vazão de pico quando da

implantação de infraestruturas verdes, 207,2 m³/s.

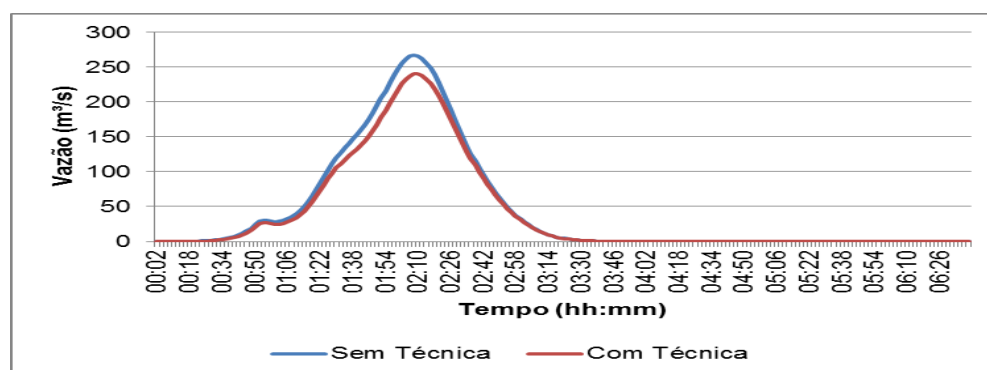
Figura 6 – Hidrogramas no exutório da bacia para os cenários 1 e 2, considerando TR de 10 anos



Na Figura 7 são apresentados, ainda, os hidrogramas no exutório da bacia que representam a distribuição das vazões quando o TR é igual a 50 anos. A vazão de pico do cenário atual é de 284,6 m³/s e o

cenário proposto com as técnicas compensatórias representa uma vazão máxima de 256,4 m³/s, logo, houve uma redução de 9,9% na vazão de pico.

Figura 7 – Hidrogramas no exutório da bacia para os cenários 1 e 2, considerando TR de 50 anos



Vale ressaltar que a maior contribuição para a redução da vazão de pico nos hidrogramas aqui apresentados foi a instalação dos telhados verdes, que

representam uma área com maior potencial implementação na bacia em estudo.

Na Tabela 4 são apresentadas as vazões de pico correspondentes aos

cenários propostos, considerando os TR analisados. É possível identificar que quanto maior o tempo de retorno, menor é

a redução da vazão de pico entre os cenários propostos.

Tabela 4 – Variações nos picos de vazão

| Cenário | TR 10 anos | TR 50 anos |
|--|------------|------------|
| Vazão de pico no cenário 1 (m ³ /s) | 234,89 | 284,56 |
| Vazão de pico no cenário 2 (m ³ /s) | 207,17 | 256,39 |
| Redução da vazão de pico (%) | 11,8 | 9,9 |

Complementarmente, a Tabela 5 apresenta a variação do volume escoado na bacia entre os Cenários 1 e 2. A proporção

de redução do volume escoado também apresenta uma diminuição à medida que o TR aumenta.

Tabela 5 – Variações nos volumes escoados

| Cenário | TR 10 anos | TR 50 anos |
|---|------------|------------|
| Volume Escoado no cenário 1 (m ³) | 868.623 | 1.061.771 |
| Volume Escoado no cenário 2 (m ³) | 765.522 | 952.347 |
| Redução do volume escoado (%) | 11,9 | 10,3 |

Nota-se, então, que com o aumento do tempo de retorno, que equivale a chuvas de projeto de maior magnitude, a eficiência das técnicas adotadas tende a diminuir, o que pode ser explicado pela capacidade de retenção das bacias, relacionada às características físicas das estruturas implantadas (PALLA; GNECCO, 2015), e não à área impermeabilizada tratada.

No mesmo sentido, resultados semelhantes foram obtidos por Palla e Gnecco (2015), que encontraram para precipitações de tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos reduções da vazão de pico nos cenários de máxima implantação de LIDs

(*low impact development*) de, respectivamente, 45%, 37% e 31%, e por Gironás, Roesner e Davis (2009), que constatarem para precipitações com TR de 2, 5 e 100 anos, reduções percentuais nas vazões de pico da ordem de 36%, 33% e 21%.

Os resultados da modelagem hidrológica dos cenários estudados mostraram a eficiência das técnicas compensatórias na diminuição da vazão de pico e conseqüentemente uma melhora na infiltração da água na bacia do córrego Ressaca. O uso de técnicas compensatórias na mesma região foi simulado nos estudos

de Nunes (2018) e Santos (2017), que realizaram a modelagem hidrológica para a bacia com o modelo SWMM.

Santos (2017) analisou o potencial da bacia do Córrego Ressaca para implantação das técnicas telhado verde, reservatório individual e pavimento permeável, em 50% da área total da bacia, considerando uma duração de chuva de 45 minutos, o que resultou em uma redução de 14,5% e 10,9% das vazões de pico para TR de 10 e 50 anos, respectivamente, e redução dos volumes escoados de 20,8% e 20,9%, também para os períodos de retorno de 10 e 50 anos, respectivamente.

Já para Nunes (2018), que avaliou a implantação de telhados verdes e pavimentos permeáveis, em 50% da área total da bacia, foram obtidas reduções das vazões de pico de 6,8% para TR de 10 anos e 5,9% para de TR 50 anos, e uma redução de 10,9% de volume escoado para ambos os tempos de retorno. Vale ressaltar que a diferença de eficiência na redução da vazão de pico para os estudos citados, se comparada às reduções obtidas neste estudo, se deve ao uso de softwares distintos, que também realizam a modelagem de forma distinta, restrições nas áreas de implantação das técnicas compensatórias, quantidades de técnicas alocadas e o tempo de duração.

Os resultados deste estudo evidenciam as potencialidades de uma

bacia para implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana e os benefícios hidrológicos que essas podem promover com o aumento da infiltração e, conseqüentemente, redução do escoamento superficial, diante de um cenário de mudanças nos padrões de precipitação.

CONCLUSÕES

Este estudo avaliou, por meio de uma modelagem hidrológica, o impacto da implantação de telhados verdes e pavimentos permeáveis, simultaneamente, na Bacia do Córrego do Ressaca. Foram selecionadas todas as áreas aptas à implantação dessas infraestruturas verdes, tendo em vista a aplicação das técnicas em 100% das áreas enquadradas.

Neste sentido, foram analisados dois cenários com precipitações de projeto de 96 minutos, sendo que o primeiro cenário representava a impermeabilização atual da bacia para eventos com TR de 10 e 50 anos e o segundo considerando a implantação de telhados verdes e pavimentos permeáveis para os mesmos tempos de retorno.

O hidrograma de cheias da bacia na seção de exutório com TR de 10 anos apresentou maior redução na vazão de pico e volume escoado, representando aproximadamente 11,8% de redução. Esta redução se deve, principalmente, à

implantação de telhados verdes, já que a bacia do córrego Ressaca apresentou maior potencial de implantação para tal técnica, se comparada com a capacidade de implantação de pavimentos permeáveis.

Contudo, os telhados verdes foram alocados majoritariamente em domínio privado, o que dificultaria a implantação dessa estrutura. É de suma importância o incentivo por parte do poder público para conscientizar o município do impacto da alteração dos telhados convencionais por telhados verdes.

É necessário que se teste outras combinações de técnicas compensatórias, para melhores resultados no que se refere à infiltração da água pluvial e escoamento superficial. Além disso, é importante a

análise do custo-benefício associado à implantação dessas infraestruturas.

Para a complementação deste estudo, é necessário a avaliação da redução das manchas de inundação na bacia do córrego Ressaca decorrentes da implantação das infraestruturas verdes propostas. Enfatiza-se que para resultados mais realistas é importante a análise de simulações com eventos específicos de chuva, para complementar a análise com chuvas de projeto.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais e à Universidade Federal de Ouro Preto pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AHERN, Jack. **Sustainability, Urbanism and Resilience** - Palestra na Primeira Conferência de Humanidades e Indústria Criativa. Universidade de Tecnologia Nacional Chyn-Yi, Taichung, Taiwan, p. 4-22, 4 de junho de 2009.

ARAÚJO, Paulo Roberto de; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; GOLDENFUM, Joel Avruch. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.5, Jul./Set. 2000.

BAPTISTA, Márcio Benedito; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira; BARRAUD, Sylvie. **Técnicas**

compensatórias em drenagem urbana. ABRH, Porto Alegre, 2011.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 29-49, 2002.

BELO HORIZONTE. **Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no Município. Belo Horizonte.** Lei 7.166 de 27 de agosto de 1996 - DOM, 1996.

BELO HORIZONTE. **Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte -**

2012/2015: Atualização 2014. Belo Horizonte: PBH, 2015. Disponível em: <<http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/contents.do?evento=conteudo&chPlc=199034>>. Acesso em: 25 nov. 2017.

BELO HORIZONTE Prefeitura Municipal. **Projeto de Lei no 179, de 17 de março de 2017**. Câmara Municipal de Belo Horizonte, MG, 2017. Disponível em: <<http://cmbhsildownload.cmbh.mg.gov.br/silinternet/servico/download/documentoVinculado?idDocumento=2c907f765acea498015add16a07f0bd6>> Acesso em: 23 nov. 2017.

BUCHARLES, Luciano Gardano Elias. **Perícia ambiental para avaliação do volume de água pluvial drenado em um empreendimento habitacional**. In: XIV Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias. Salvador, BA. 2007.

CAETANO, Fernando D. N.; TIBIRIÇÁ, Antônio Cleber Golçalves; SANTOS, Glaucio L. A. A. **Sistema de cobertura verde para uma edificação na área de saúde numa IFES**. XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela, RS, out. 2010. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2010/arquivos/618.pdf>>. Acesso em 10 nov, 2017.

CÂNDIDO, Edilaine Gomes Silva. **Modelagem hidrológica e hidráulica da Bacia do Córrego Ressaca (Belo Horizonte, MG) utilizando o modelo SWMM**. Trabalho de Conclusão de Curso, UFMG, Belo Horizonte. 2015.

CATUZZO, Humberto. **Telhado verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O caso da cidade de São Paulo**. Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 207p. 2013.

COSTA, Walter Duarte. **Caracterização das Condições de Uso e Preservação das Águas Subterrâneas do Município de Belo Horizonte - MG**. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de S P, São Paulo, 2002.

BEATO, D. A. C.; DUTRA, G. M.; MEDEIROS, M. J. CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Projeto Pampulha: estudo hidrogeológico da Bacia da Pampulha**. - Belo Horizonte: CPRM/PBH/P. Contagem, 2001.

DIAS, Victor Scates. **Uso de modelo hidrológico em bacia hidrográfica urbana para previsão de enchentes. Estudo de caso: Microbacia do córrego Jataím, Uberlândia/MG**. 157f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Uberlândia. 2015.

DRUMOND, Pedro de Paula. **Estudo da influência da reservação de águas pluviais em lotes no município de Belo Horizonte, MG: Avaliação Hidráulica e Hidrológica**. 204f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte. 2012.

FORMIGA, Klebber Teodomiro Martins; CARVALHO, Maira de; SILVA, Karla Alcione; SOARES, Alexandre Kepler. **Calibração do Storm Water Management Model (SWMM) utilizando algoritmos evolucionários multiobjetivo**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 4, p. 697-707. 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v21n4/1809-4457-esa-21-04-00697.pdf>>. Acesso em 25 nov, 2017.

FOSTER, Josh; LOWE, Ashley; WINKELMAN Steve. **The Value of Green Infrastructure for Urban Climate Adaptation**, The Center for Clean Air Policy, United States Of America, 2011.
GIRONÁS, Jorge; ROESNER, Larry A.; DAVIS, Jennifer. **Storm Water Management Model - Applications Manual**. Cincinnati, OH: U. S. Environmental Protection Agency, 2009.

HERZOG, Cecilia Palacow. **Green infrastructure as a strategy to reinstate resilience to an urban watershed in Rio de Janeiro, Brazil**. In: Sessão paralela - Intelligent Urban Fabric. 1st World Congress on Cities and Adaptation to Climate Change. Resilient Cities 2010. Bonn, 28-30 de maio de 2010.

HERZOG, Cecilia Palacow.; ROSA, Loudes Zunino. **Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e Resiliência para a Paisagem Urbana**. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/download/61281/64217>. Acesso em: 02 de dez. 2017.

IAURIF, Cahiers de. Água, a cidade e planejamento urbano. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. v. 116, 204 p, 1997. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=310620>.> Acesso em 15/12/2017.

JAHNKE, Letícia Thomasi; WILLANI, Sheila Marione Uhlmann; ARAÚJO, Tiago Luiz Rigon. **O IPTU Verde: Práticas Sustentáveis Trazem Benefícios Financeiros à População**. Revista Eletrônica do Curso de Direito - UFSM, Santa Maria, v. 8, Edição Especial - I Congresso Internacional de Direito Ambiental e Ecologia Política - UFSM, p.413-423, 2013.

JOBIM, Alan Lamberti. **Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo da água pluvial**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Rio Grande do Sul. LABSID. ABC. 2015. Disponível em: <http://www.labsid.eng.br/software.aspx?id=8>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

LIMA, Herlander Mata; SILVA, Evaristo Santos; RAMINHOS, Cristina. **Baciais de retenção para gestão do escoamento: métodos de dimensionamento e instalação**. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, n.1, p.97-109, jan./mar. 2006.

MCCUTCHEON, Matthew; WRIDE, Derek. Shades of Green: Using SWMM LID Controls to Simulate Green Infrastructure. **Journal of Water Management Modeling**, Canada, 2013. Disponível em: <https://www.chijournal.org/Journals/PDF/R246-15>>. Acesso em: 22 set. 2017.

MOURA, Priscilla Macedo. **Contribuição para a Avaliação Global de Sistemas de Drenagem Urbana**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte. 142f. 2004.

NETO, Pedro de Souza Garrido. **Telhados verdes associados com sistema de aproveitamento de água de chuva**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2012.

NUNES, Aline Araújo. **Tendências em eventos extremos de precipitação na região metropolitana de Belo Horizonte: detecção, impactos e adaptabilidade**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio

Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG, Belo Horizonte. 2018.

PALLA, Anna; GNECCO, Ilaria. **Hydrologic modeling of Low Impact Development systems at the urban catchment scale.** Journal of Hydrology, 528, 2015. 361-368.

PARAÍBA. **Dispõe sobre a obrigatoriedade da instalação do “telhado verde” nos locais que especifica, e dá outras providências.** Diário Oficial do Estado da Paraíba, Lei Estadual no 10.047, de 9 de julho de 2013. João Pessoa, 09 jul. 2013. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/56458222/doespb-10-07-2013-pg-3>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

PRODABEL, **Base de dados georreferenciados.** Belo Horizonte. 2016. RECIFE. Lei no 18.112, de 12 de janeiro de 2015. Recife., 13 jan. 2015. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=280138>>. Acesso em: 18 de abril de 2018.

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 (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte. 220f. 2017.

ROSSMAN, Lewis A. **Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1.** King Drive Cincinnati, OH, USA: U. S. Environmental Protection Agency, 2015.

SAMPLE, David J.; DOUMAR, Lia. **Best Management Practice Fact Sheet 5:**

Vegetated Roofs. Virginia Cooperative Extension, Publicação 426-124, 2013.

SANTOS, Bárbara Aliverti Dias. **Impactos da implantação de técnicas compensatórias na bacia hidrográfica do córrego Ressaca – Belo Horizonte, Minas Gerais.** Trabalho de conclusão de curso – Faculdade de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte. 2017.

SANTOS.. **Concede incentivo fiscal à implantação de “coberturas verdes” nos edifícios do município, e dá outras providências.** Diário Oficial do Município, Lei Complementar no 913, de 21 de dezembro de 2015. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/diarios/106757384/dom-santos-normal-22-12-2015-pg-12?ref=topic_feed>. Acesso em: 18 de abril de 2018.

SCHUELER, Thomas. R. **Controlling urban runoff: a practical manual for planning and designing urban.** BMPs. Washington: Washington Metropolitan Water Resources Planning Board, 1987.

SILVEIRA, A.L.L. Hidrologia Urbana no Brasil, in: BRAGA, B.; TUCCI, C.E.M.; TOZZI, M. **Drenagem Urbana - Gerenciamento, Simulação, Controle.** ABRH Publicações nº 3, Ed. da Universidade, Porto Alegre, 1998.

TEIXEIRA, M. L. C.; MOURA, P. M.; AGUIAR, I. M. C. **Estimativa de Área Impermeável do Município de Belo Horizonte.** Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2014.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mario T. **Drenagem urbana.** Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS; ABRH, p. 428.1995.

VERSINI, Pierre Antoine.; JOUVE, Pascal.; BERTHIER, Emmanuel.; GOUVELLO, Bernard. de. **Use of green roofs to solve storm water issues at the basin scale - Study in the Hauts-de-Seine County (France)**. Urban Water Journal, 2015.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. Editora McGraw-Hill do Brasil, 245p, São Paulo, 1975.

WOODS BALLARD, Bridget.; WILSON, S.; UDALE-CLARKE, Helen.; ILLMAN, S.; SCOTT, Tamasine.; Ashley, Richard.; Kellagher, R. **The SuDS Manual, C753**, CIRIA, London, UK, 2015.

Disponível em:
<http://www.ciria.org/Memberships/The_SuDS_Manual_C753_Chapters.aspx>.
Acesso em: 10 ago. 2017.