

**Uso de telhados verdes na mitigação de cheias de uma bacia hidrográfica urbana
com alta frequência de inundações**

**Use of green roofs for runoff mitigation in urban catchment with high flood
frequency**

DOI:10.34117/bjdv6n12-351

Recebimento dos originais: 15/11/2020

Aceitação para publicação: 15/12/2020

Marcia Maria Guimarães

Doutora em Ciências em Engenharia Civil/Recursos Hídricos pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE/UFRJ
Instituição: Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES
Endereço: Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas – CCET, Prédio 3, Campi Darcy Ribeiro
Avenida Dr. Rui Braga, s/no – Vila Mauricéia – Montes Claros – MG, Brasil
E-mail: marcia.guimaraes.mmg55@gmail.com

Marcelle Paio Silva

Bacharelada em Engenharia Civil
Instituição: Centro Universitário UNA
Endereço: Rua dos Aimorés, 1451 – Lourdes, Belo Horizonte – MG, Brasil
E-mail: marcelepaio@gmail.com

Walysson Guimarães Florentino

Bacharelado em Engenharia Civil
Instituição: Centro Universitário UNA
Endereço: Rua dos Aimorés, 1451 – Lourdes, Belo Horizonte – MG, Brasil
E-mail: walyssong22@gmail.com

Rayssa Suellen Dias

Bacharelada em Engenharia Civil
Instituição: Centro Universitário UNA
Endereço: Rua dos Aimorés, 1451 – Lourdes, Belo Horizonte – MG, Brasil
E-mail: rayssa261@gmail.com

Felicio Clemente Ferreira de Oliveira Junior

Bacharelado em Engenharia Civil
Instituição: Centro Universitário UNA
Endereço: Rua dos Aimorés, 1451 – Lourdes, Belo Horizonte – MG, Brasil
E-mail: feliciocfo@gmail.com

Isabelle de Almeida Pereira

Bacharelada em Engenharia Civil
Instituição: Centro Universitário UNA
Endereço: Rua dos Aimorés, 1451 – Lourdes, Belo Horizonte – MG, Brasil
E-mail: isabelle.almeidap@gmail.com

Victoria Oliveira Lima

Bacharelada em Engenharia Civil

Instituição: Centro Universitário UNA

Endereço: Rua dos Aimorés, 1451 – Lourdes, Belo Horizonte – MG, Brasil

E-mail: victoria.lima27@gmail.com

Brunno Henrique Ferreira Leal de Pinho Eládio

Bacharelado em Engenharia Civil

Instituição: Centro Universitário UNA

Endereço: Rua dos Aimorés, 1451 – Lourdes, Belo Horizonte – MG, Brasil

E-mail: brunno.eladio@gmail.com

RESUMO

O processo de urbanização, geralmente, aumenta as superfícies impermeáveis, reduz a infiltração da chuva, aumenta o volume de escoamento superficial e a frequência das inundações urbanas. Localizada na região nordeste de Belo Horizonte - MG, a sub-bacia do córrego Cachoeirinha com área de 15,75 km² possui 92,3% de sua área impermeável (70,8% de edificações, 21,5% de vias asfaltadas) e apenas 7,7% de áreas verdes, topografia muito acidentada e infraestrutura de drenagem consolidada, as quais contribuem para o rápido escoamento das águas para o canal principal no fundo do vale, onde se observam frequentes inundações. Neste artigo é feita a avaliação da implantação de “telhados verdes” nessa sub-bacia, visando recuperar as condições hidrológicas anteriores à ocupação da região. Essa técnica busca reduzir o volume escoado, a manutenção do tempo de concentração, o controle da velocidade do escoamento e estimula o uso da água de chuva. Foi simulada a transformação percentual das áreas de lotes em áreas verdes, com respectivo recálculo dos coeficientes de escoamento e das vazões de projeto. Os percentuais “ótimos” de redução das áreas impermeáveis são: 37% com TR = 10 anos, 53% com TR = 25 anos, 60% com TR = 50 anos e 67% com TR = 100 anos. Os resultados mostram que a implementação de telhados verdes na escala da bacia hidrográfica urbana pode ser uma estratégia valiosa para amortizar os picos dos hidrogramas de cheias e reduzir os volumes escoados.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica, Controle de cheias, Inundações urbanas, Telhado verde.

ABSTRACT

The urbanization process generally increases the impermeable surfaces, reduces infiltrations of rain and increases the runoff volume and frequency of urban flooding. Located in the northeast region of Belo Horizonte-MG, Cachoeirinha stream sub-basin with area of 15.75 km² has 92.3% of its impermeable areas (70.8% of buildings, 21.5% of paved roads) and only 7.7% of green areas, very rugged topography and consolidated drainage infrastructure, which contribute to the rapid flow of water to the main channel where frequent flooding is observed. In this article, an assessment is made of the implementation of “green roofs” in this sub-basin, aiming to recover the hydrological conditions prior to the occupation of the region. This technique reduces runoff speed and volume, maintain the concentration time and stimulate the rainwater use. The percentage transformation of batch areas into green areas was simulated, with respective recalculation of runoff coefficients and flow rates. The simulations showed that the “optimal” percentages of reduction of impermeable areas are: 37% with TR = 10 years, 53% with TR = 25 years, 60% with TR = 50 years and 67% with TR = 100 years. The results show that the implementation of green roofs on the scale of the urban watershed can be a valuable strategy to amortize the peaks of the flood hydrographs and reduce the runoff volumes.

Keywords: Watershed, Flood control, Urban flooding, Green roof.

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização, geralmente, é acompanhado pelo aumento de superfícies impermeáveis, como telhados e sistema viário, compactação de solos e modificações na vegetação. Dentre as alterações devidas à impermeabilização do solo, podem-se citar as reduções: (i) da infiltração no solo, (ii) do tempo de deslocamento da água e antecipação do tempo de ocorrência dos picos de vazão, pelo aumento da sua velocidade nos condutos, (iii) da recarga dos lençóis e aquíferos subterrâneos, (iv) dos processos de transpiração devido à substituição da cobertura vegetal. Isso tem como consequência o aumento na frequência das inundações, causando a diminuição do tempo de resposta e o aumento do volume escoado, alterando o hidrograma natural de cheias das bacias, para os períodos anteriores e posteriores à urbanização.

Acrescente-se a isso o aumento contínuo da população urbana com impactos significativos nos sistemas de saneamento básico, e, em especial, nos sistemas de drenagem de águas pluviais, modificando seu ciclo hidrológico, devido à substituição da cobertura vegetal por pavimentos impermeáveis, introduzindo-se condutos para transporte do escoamento superficial, provocando impactos no ciclo natural local.

De acordo com Drumond (2012), a partir da segunda metade do século XX, o grau de urbanização no Brasil se intensificou de tal maneira, que de 1940 a 2010 a porcentagem da população vivendo em cidades mais do que dobrou. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), a região sudeste é onde se concentra grande parte do contingente populacional do país, onde a taxa de urbanização ultrapassou os 90.

A população da Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH, por exemplo, teve um aumento de quase sete vezes ao longo de 70 anos, ou seja, passou de 1 para 6,5 milhões de habitantes. Para o município de Belo Horizonte o IBGE (2010) previu uma população residente no ano de 2017 da ordem de 2,5 milhões de habitantes.

Geralmente, os impactos nos recursos hídricos provenientes do processo de urbanização estão relacionados aos aumentos das densidades populacionais e de construções. O primeiro processo cria novas demandas que ampliando o volume de água retirada do sistema para o abastecimento. O aumento da densidade de construções, por sua vez, aumenta a área impermeabilizada e modifica o sistema de drenagem. Com a diminuição da infiltração o escoamento superficial direto se intensifica ocasionando a deterioração da qualidade das águas fluviais – devido ao carreamento de sedimentos – e prejudicando a recarga subterrânea, alterando as vazões das bacias. Por outro lado, a nova dinâmica de drenagem aumenta a velocidade do escoamento gerando tempos de concentração e recessão menores, tendo como consequência vultosos picos de cheias. A ocupação urbana, baseada no asfalto e no concreto, tende a cobrir a superfície com materiais impermeáveis ou pouco permeáveis. Assim, a água não entra em

contato com solo, prejudicando a dinâmica hidrológica local ou regional, aumentando com isso a incidência de inundações (BEAN *et al.*, 2007; FASSMAN e BLACKBOURN, 2010; GREBEL *et al.*, 2013).

Além disso, durante muito tempo a engenharia mundial adotou uma abordagem “higienista” nos seus projetos de drenagem, na qual é realizada uma transferência rápida das águas pluviais para jusante, por meio dos dispositivos de microdrenagem, como sarjetas e bocas de lobo, e de macrodrenagem, como galerias e canais artificiais. Esses sistemas, porém, alteram significativamente as calhas fluviais, transformando cursos de água naturais em canais de concreto, sem se preocupar com a qualidade da água e/ou a manutenção dos sistemas aquáticos. Com o aumento da impermeabilização, os sistemas de micro e macrodrenagem passam a se tornar insuficientes para transporte de um volume muito maior das águas pluviais, aumentando a frequência das inundações e caracterizando a necessidade de sua ampliação, ou adoção de métodos alternativos para minimizar os impactos das inundações na vida da população residente e no próprio meio ambiente.

Assim, a ocupação urbana, associada ao inadequado uso do solo e à falta de planejamento de sistemas de drenagem conduz, à luz dos critérios de projetos “higienistas”, ao incremento da vazão devido à impermeabilização, resultando em aumentos na frequência e magnitude das inundações.

Nos últimos anos surgiram novas técnicas compensatórias estruturais como soluções alternativas em relação aos sistemas convencionais de drenagem, como os telhados armazenadores de águas pluviais (telhados verdes), construção de estruturas de reservação e contenção, poços, bacias de detenção secas ou com água, etc., e, também, as não estruturais como a gestão, a educação ambiental, sistemas de alerta, zoneamentos e seguros contra inundações. As medidas estruturais são medidas físicas que modificam o sistema fluvial de maneira a deter, reter, diminuir ou aumentar a velocidade de escoamento. Podem ser classificadas em três tipos, de acordo com a forma de controle de vazões, (i) na fonte, por meio de reservatórios, poços de infiltração e telhados armazenadores; (ii) nos sistemas viário e de drenagem, com a implantação de pavimentos porosos, valas, valetas ou áreas de armazenamento em pátios ou estacionamentos; e, (iii) centralizado na bacia, por meio de bacias de detenção, retenção ou infiltração. As medidas não estruturais não fazem uso de estruturas que alteram o regime de escoamento das águas superficiais. São medidas destinadas ao controle do uso e ocupação do solo e à diminuição da vulnerabilidade das populações residentes em áreas de risco.

“Há que se destacar uma forte tendência da adoção de medidas estruturais, as quais não são projetadas para dar proteção total e definitiva para a população residente. Esse tipo de medidas cria uma falsa sensação de segurança, levando a população e as autoridades públicas a acreditarem que poderão ocupar áreas inundáveis, levando a futuros impactos e prejuízos sociais, econômicos e ambientais.” (GUIMARÃES, 2019).

Por outro lado, as medidas não convencionais, diferentes dos processos de canalização utilizados na drenagem urbana belo-horizontina, trazem novas oportunidades de estudos e uma visão ampla de como resolver problemas de cunho urbano e social.

Como exemplificado por Canholi (2014)

“as medidas não convencionais mais adotadas destacam-se aquelas que visam a incrementar o processo da infiltração, como reter os escoamentos em reservatórios, retardar o fluxo nas calhas dos córregos e rio”.

Para minimizar os impactos, portanto, é necessário adotar métodos alternativos de amortecimento dos picos de cheias, como o controle na fonte (*on-site stormwater detention*) por meio da implementação de telhados verdes. Este trabalho está baseado na aplicação de técnicas compensatórias estruturais capazes de subsidiar a análise das inundações na sub-bacia hidrográfica do córrego Cachoeirinha, Belo Horizonte-MG.

2 OBJETIVOS

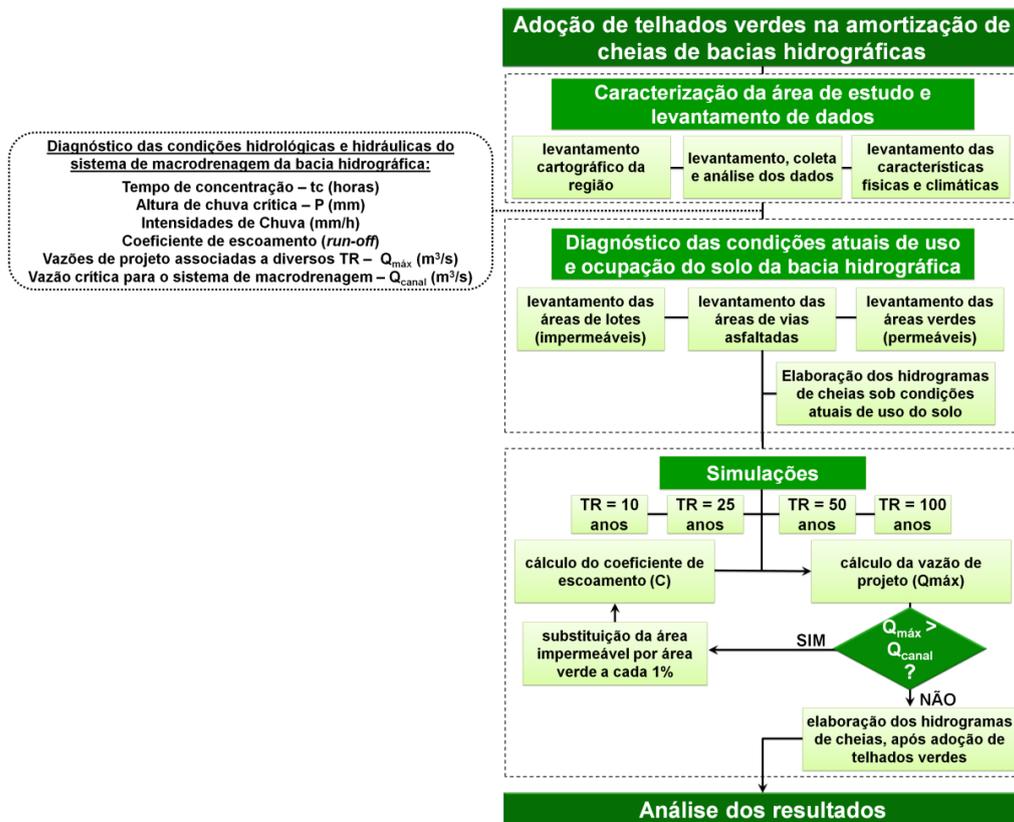
O objetivo desta pesquisa é avaliar novas possibilidades para a correção dos problemas de inundação já existentes, como à implantação de um sistema de retenção em lotes (*on-site stormwater detention*), por meio da implementação de “telhados verdes” nas edificações da sub-bacia do córrego Cachoeirinha, visando recuperar o máximo possível as condições hidrológicas locais anteriores à ocupação dessa região. Essa técnica, denominada alternativa ou compensatória, busca reduzir o volume escoado, a manutenção do tempo de concentração da bacia, o controle da velocidade do escoamento e o uso da água de chuva.

3 METODOLOGIA

Telhados verdes são sistemas que aproveitam a água da chuva e têm a função de retardar o processo de escoamento, amenizando danos causados por cheias. Nesse processo de utilizar a vegetação em edificações são implantadas camadas de vegetação, com intuito de simular um solo vegetado (NETO, 2012). Eficaz na redução e retardo do escoamento superficial o telhado verde pode reduzir o volume das águas pluviais que vai até o sistema de drenagem urbana através da retenção da água de chuva no telhado verde. Esse sistema é de grande importância para as regiões urbanas que sofrem com inundações, reduzindo a trabalhabilidade dos sistemas drenagem urbana, gerando economia nos custos de funcionamento e reduzindo alagamentos (COSTA, 2012).

A adoção de telhados verdes como medida para mitigação do escoamento numa bacia hidrográfica urbana com alto risco de inundação segue algumas etapas, conforme ilustrado na **Figura 1** e descritas a seguir.

Figura 1 – Metodologia para estudo de amortização de cheias com adoção de telhados verdes



3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E LEVANTAMENTO DE DADOS

Nesta etapa são realizados os levantamentos de dados, mapas e estudos existentes na bacia hidrográfica.

3.2 DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS E HIDRÁULICAS DO SISTEMA DE MACRODRENAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA

Esta etapa se baseia na análise de uma chuva crítica ocorrida em Belo Horizonte, cujos estudos hidrológicos e hidráulicos, elaborados pela SUDECAP (2011-a e b), onde são estabelecidos, dentre outras informações: hidrogramas de cheias para condições de uso e ocupação do solo anteriores a adoção da técnica de “telhados verdes”; tempos de retorno – Tr (anos), altura de chuva crítica – P (mm), duração de chuva crítica – D (horas), vazões de projeto associadas a diversos Tr – $Q_{m\acute{a}x}$ (m^3/s), vazão crítica – $Q_{m\acute{a}x}$ (m^3/s), capacidade de vazão do sistema de macro drenagem – Q_{canal} (m^3/s).

Neste estudo foi analisada uma chuva ocorrida no dia 23/11/2010 que causou inundações generalizadas na confluência do Cachoeirinha com o ribeirão Pampulha, nas Avenidas Bernardo Vasconcelos e Cristiano Machado ocasionando diversos impactos para a população e o meio ambiente, inclusive a morte por afogamento de um homem (**Figura 2**).

Figura 2 – Imagens da inundação do dia 23/11/2010 na Avenida Cristiano Machado



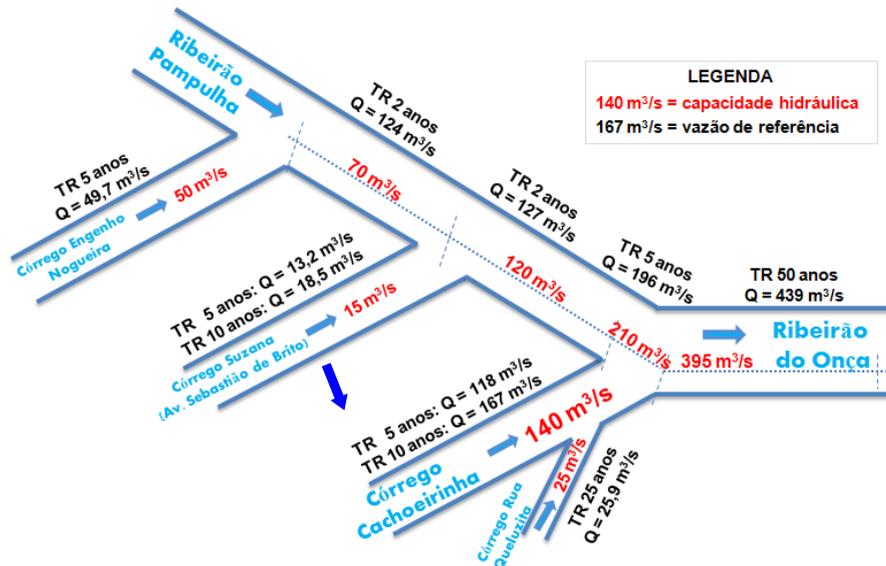
Fonte: SUDECAP (2011-a, pg.24).

De acordo com SUDECAP (2011-b), o córrego Cachoeirinha possui duas vazões de restrição (**Figura 3**): (1) uma para o trecho canalizado aberto, localizado na parte alta da sub-bacia, igual à 120 m³/s; (2) outra para o trecho do canal fechado, localizado na parte baixa da sub-bacia, com capacidade de vazão de 140 m³/s. Para que se reduzam as inundações nessa região amortizando os hidrogramas de cheias, todo o excesso de água gerado, ou seja, todo o volume acima da capacidade de transporte do canal, que é de 504.000 m³, deverá ser acumulado em telhados verdes e pequenos reservatórios residenciais.

3.3 DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES ATUAIS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA

Nesta etapa são feitos levantamentos das áreas de lotes (impermeáveis), de asfalto e das áreas verdes (vegetação + áreas permeáveis) existente na bacia. Poderão ser utilizados *softwares* SIG, como o *Infraworks* da *Autodesk*, o *Civil 3D* da *Autodesk* e o *QGIS* (2002).

Figura 3 – Vazões de restrição dos cursos de água da sub-bacia do ribeirão do Onça



Fonte: adaptada de SUDECAP (2011-a, pg. 66).

A partir do diagnóstico das condições hidrológicas e hidráulicas do sistema de macrodrenagem pode-se utilizar o *software* HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System*) para a modelagem dos processos hidrológicos. Na modelagem do escoamento no curso de água principal utiliza-se o *software* HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center – River Analysis System*).

3.4 SIMULAÇÕES

Nesta etapa são realizadas simulações da transformação a cada 1% das áreas de lotes em áreas verdes, com respectivo recálculo dos coeficientes de escoamento superficial e das vazões de projeto, para as intensidades de chuvas associadas aos tempos de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos. Em seguida, são verificados os percentuais dessa transformação que conduzem a hidrogramas de cheias amortizados, contendo o escoamento na calha fluvial.

Dentre os métodos para o cálculo da vazão de projeto, pode-se aplicar o método racional que é um método indireto que estabelece uma relação entre a chuva e o escoamento superficial (deflúvio). É o método mais utilizado no mundo para pequenas bacias e, apesar de suas simplificações, pode também ser utilizado em bacias urbanas. Admite-se que a chuva de projeto seja uniformemente distribuída no espaço e no tempo e que a duração da chuva é igual ao tempo de concentração da bacia, ou seja, todos os pontos contribuem com a formação do escoamento superficial. Resume-se basicamente na aplicação da “fórmula racional”, que, apesar desse nome, deverá ser utilizada com muita cautela, pois envolve simplificações e coeficientes subjetivos,

$$Q = \frac{C.I.A}{3,6} \tag{1}$$

onde, Q (m^3/s) a vazão máxima com período de retorno TR ; A é a área de drenagem da bacia (km^2), I é a intensidade da precipitação (mm/h) (obtida da equação de chuvas intensas), para uma chuva com TR anos de período de retorno e duração D crítica para a bacia igual ao seu tempo de concentração t_c , e C é o coeficiente de deflúvio, de escoamento superficial, ou coeficiente de *runoff*,

$$C = \frac{\text{volume escoado}}{\text{volume precipitado}} \tag{2}$$

O valor do coeficiente C é calculado em função do tipo de ocupação do solo, denotando uma maior ou menor tendência à geração de escoamento superficial (**Tabela 1**).

Tabela 1 – Coeficientes de escoamento superficial em função da ocupação do solo

Tipo de ocupação do solo	Coefficiente C
<i>Edificações muito densas</i> : partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 a 0,95
<i>Edificações não muito densas</i> : partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 a 0,70
<i>Edificações com poucas superfícies livres</i> : partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas	0,50 a 0,60
<i>Edificações com muitas superfícies livres</i> : partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas, mas com muitas áreas verdes	0,25 a 0,50
<i>Subúrbios com alguma edificação</i> : partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construções	0,10 a 0,25
<i>Matas, parques e campos de esportes</i> : partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados e campos de esporte sem pavimentação	0,05 a 0,20

Fonte: adaptada de PORTO (1995; pg.130).

Caso a bacia seja relativamente diversificada, podendo-se identificar sub-áreas homogêneas, correspondendo a diferentes valores do coeficiente de *runoff*, o valor a adotar deverá ser determinado pela média ponderada,

$$C_m = \frac{1}{A} \sum_{j=1}^n (C_j \cdot A_j) \tag{3}$$

onde, C_m é o coeficiente médio de escoamento superficial; A é a área total da bacia; C_j e A_j são o coeficiente de escoamento superficial e a área da bacia correspondentes ao tipo de ocupação j , respectivamente; n é a quantidade de tipos de ocupação identificados na bacia.

Considerando três tipos de uso e ocupação, o coeficiente de escoamento superficial da área de contribuição pode ser obtido pela expressão,

$$C = \frac{C_q \times A_q + C_a \times A_a + C_{av} \times A_{av}}{A_q + A_a + A_{av}} \quad (4)$$

em que C = coeficiente de escoamento superficial, ou coeficiente de *runoff*, C_q = coeficiente do quarteirão, A_q = área do quarteirão, C_a = coeficiente do asfalto, A_a = área do asfalto, C_{av} = coeficiente da área verde, A_{av} = área da área verde.

É premissa básica do método racional que a duração da chuva de projeto seja igual ao tempo de concentração da bacia, podendo esse ser calculado pela equação de Kirpich,

$$tc = 3,989 L^{0,77} S^{-0,385} \quad (5)$$

sendo tc = tempo de concentração (minutos), L = comprimento do talvegue (km), S = declividade do talvegue (m/m).

Usualmente os estudos de chuvas intensas são expressos em forma de equações IDF, isto é, de expressões que relacionam a intensidade, a duração e a frequência de ocorrência de precipitações intensas. Nesse sentido, Pinheiro (1997) estabeleceu a equação do tipo IDF para a RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte, aplicável nos estudos em que o período de retorno, $TR \leq 200$ anos, e a duração da precipitação entre $10 \text{ min} \leq D \leq 24 \text{ h}$,

$$\hat{I}_{Tr,i} = 0,76542 D^{-0,07059} PA^{0,5360} \mu_{Tr,d} \quad (6)$$

sendo, $\hat{I}_{Tr,i}$ = estimativa da intensidade média do local i (mm/h), associada ao período de retorno Tr (anos); D = duração da precipitação (horas); PA = precipitação total anual média (mm), obtida em mapa de isoietas de precipitações; $\mu_{Tr,d}$ = fator “*index-flood*” associado à Tr e à D (PINHEIRO, 1997; PINHEIRO e NAGHETTINI, 1998).

Após a determinação das áreas permeáveis e impermeáveis das bacias, são recalculados os coeficientes *runoff* e as vazões de projeto, para vários períodos de retorno.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Uma das principais vias de acesso ao Aeroporto Internacional de Belo Horizonte é a Avenida Cristiano Machado, constantemente acometida por inundações, principalmente na região da confluência entre o córrego Cachoeirinha e o ribeirão Pampulha, formadores do ribeirão do Onça, afluente do rio das Velhas, um dos principais afluentes da bacia do rio São Francisco (**Mapa 1**). A sub-

por último, a construção da Linha Verde. Hoje essa sub-bacia encontra-se quase que totalmente urbanizada, com altíssimos índices de impermeabilização e com um aumento significativo da frequência de inundações no local. O canal do Cachoeirinha não suporta a ascensão rápida dos hidrogramas de cheias, fazendo com que grandes volumes de água transportados na bacia transbordem com grande frequência. Além disso, as altas declividades da bacia fazem com que a água de cheie rapidamente aos canais, e os escoamentos atinjam os cursos d'água num curto período de tempo, reduzindo sobremaneira o tempo de concentração da bacia.

De acordo com Baptista *et al.*, (2011), técnicas compensatórias são medidas que fazem parte da gestão sustentável de águas pluviais. Quando bem concebidas contribuem, efetivamente, para a melhoria da qualidade de vida nas cidades.

A Avenida Cristiano Machado, região da confluência do córrego Cachoeirinha com o ribeirão Pampulha, formadores do ribeirão do Onça está inserida dentro da unidade da Depressão de Belo Horizonte, com o predomínio de rochas gnáissico-migmatíticas. O solo apresenta espessuras e evolução pedológica variadas, além de depósitos aluviais ligados aos principais cursos d'água.” (SIMÕES *et al.*, 2012). A análise do relevo é grande importância para determinação da velocidade de escoamento, considerando que

*“Belo Horizonte possui relevo caracterizado por espigões, colinas de topo plano a arqueado e encostas policonvexas, com declividades variadas nos flancos das feições e transições [...]. Com relevo suave e baixa declividade a av. Cristiano Machado e seu entorno situa-se ao fundo do vale, com cota de, até 800 m no topo da encosta e 770 m na planta, facilitando o seu acúmulo de água, devido principalmente ao escoamento superficial das águas pluviais. Por ser uma área fortemente ocupada e bastante impermeabilizada, há restrição da infiltração d'água para o solo.” (SIMÕES *et al.*, 2012).*

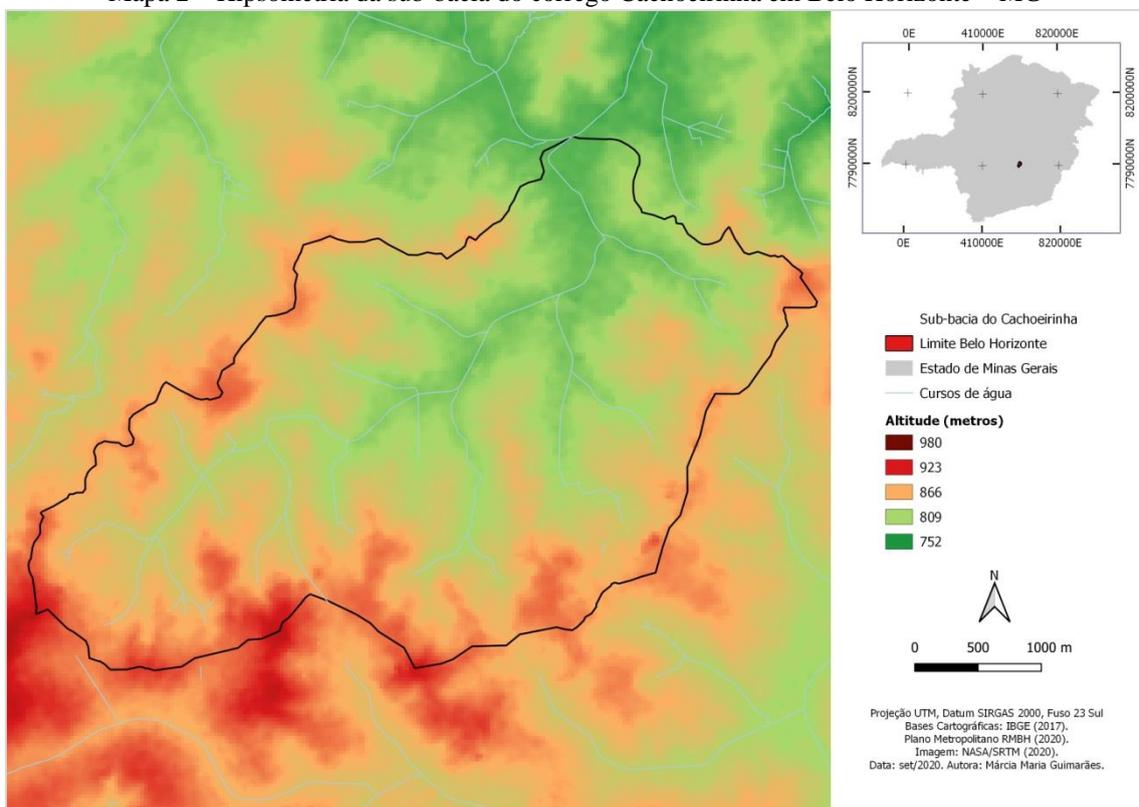
Os níveis altimétricos da sub-bacia do córrego Cachoeirinha variam de 752 a 980 m (**Mapa 2**), o que colabora com o aumento do volume escoado, a redução do tempo de concentração da bacia com antecipação do pico de cheias e aumento da vazão máxima nos hidrogramas, elevando a frequência e a magnitude das enchentes.

O processo de urbanização traz profundas modificações no uso do solo, que por sua vez causam marcas permanentes nas respostas hidrológicas das áreas urbanizadas, apresentando os efeitos mais notáveis no aumento do escoamento superficial e na diminuição da infiltração (FONTES e BARBASSA, 2003). A remoção da cobertura vegetal natural para viabilizar a implantação de atividades humanas, decorrentes de uma ocupação desordenada de bacias urbanas, pode ter consequências catastróficas para o meio ambiente.

A impermeabilização das vertentes diminui a quantidade de água absorvida pelo solo, aumentando a velocidade das águas superficiais. Após um período chuvoso, as drenagens transbordam, por não suportar o volume de água existente (BOTELHO, 2011).

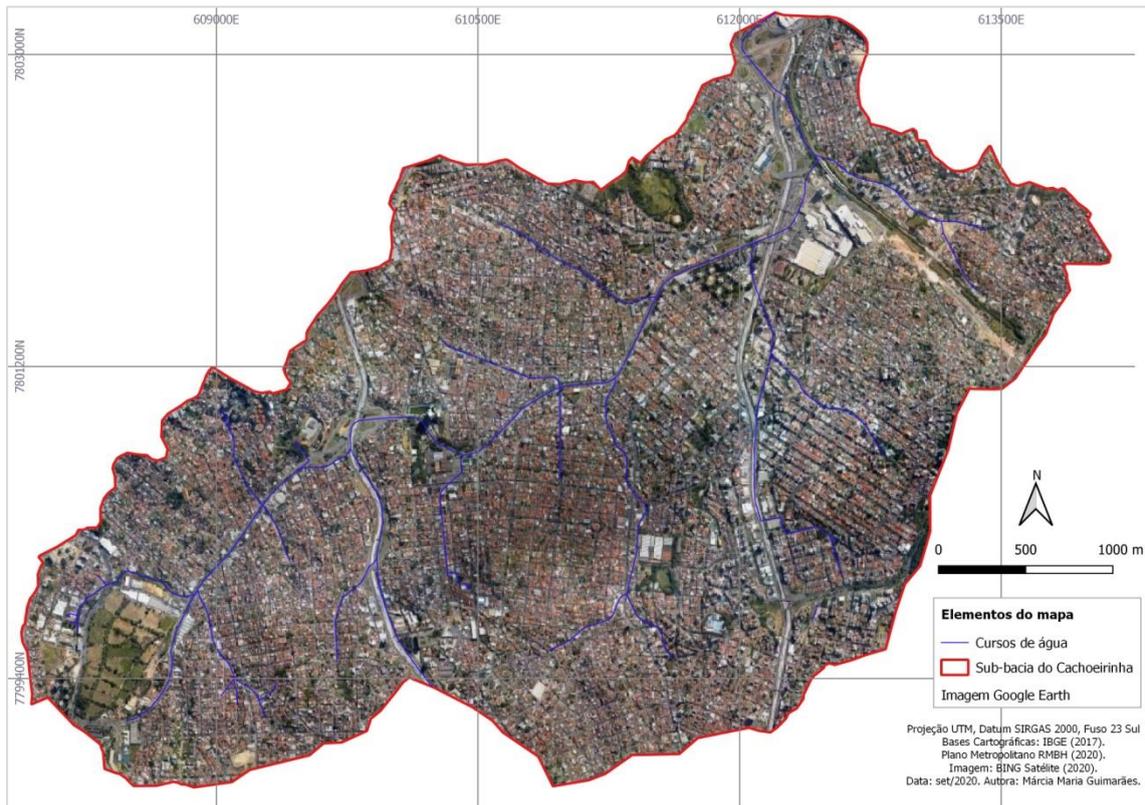
Um levantamento do uso e ocupação do solo (**Mapa 3**) mostra que o alto nível de urbanização e solo impermeável na sub-bacia do córrego Cachoeirinha são responsáveis pelo agravamento dos eventos de inundação da região, uma vez que reduz sobremaneira o tempo de concentração e aumenta a velocidade das águas com aumento instantâneo do nível da água no canal e, em consequência, extravasamentos frequentes de suas águas para as avenidas Bernardo Vasconcelos e Cristiano Machado.

Mapa 2 – Hipsometria da sub-bacia do córrego Cachoeirinha em Belo Horizonte – MG

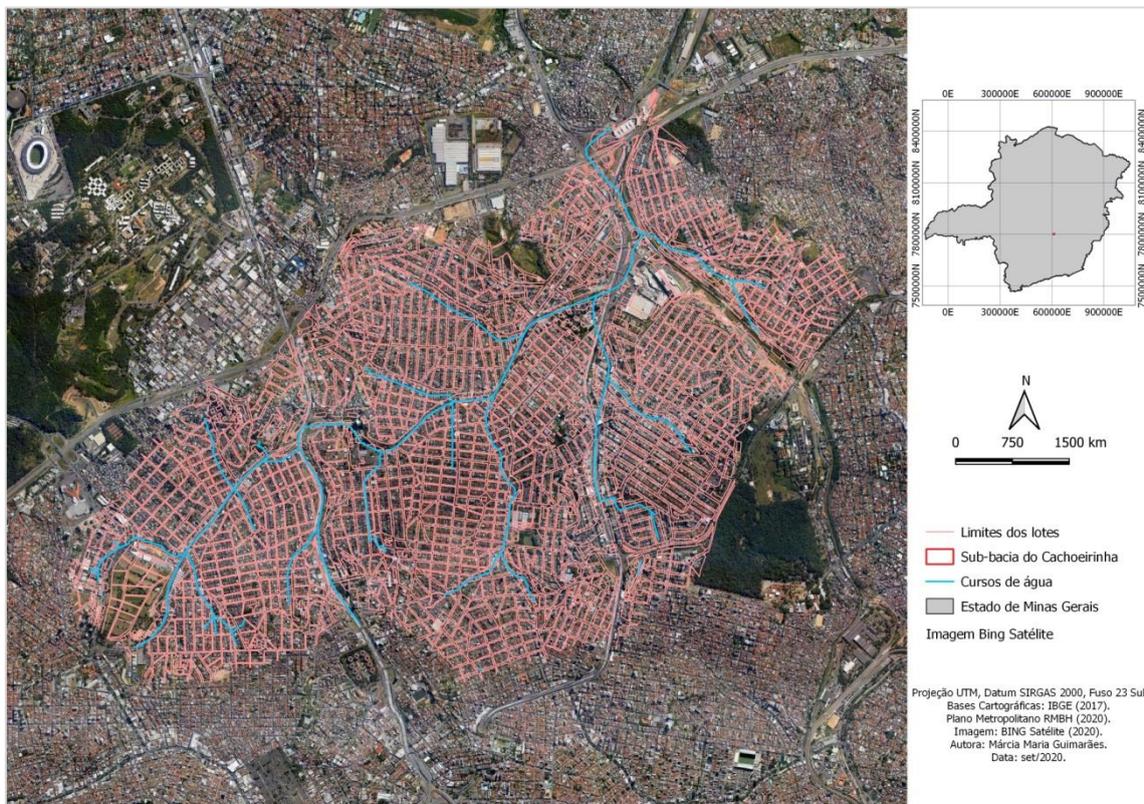


No levantamento das áreas permeáveis e impermeáveis foi utilizado o *software* Infravorks da Autodesk para retirar as topografias, o *software* Civil 3D da Autodesk para retirar a imagem e o mapa viário utilizado foi o obtido na Prodabel de maio/2016 (**Mapa 4**).

Mapa 3 – Uso do solo na sub-bacia do córrego Cachoeirinha em Belo Horizonte – MG



Mapa 4 – Uso do solo na sub-bacia do córrego Cachoeirinha em Belo Horizonte – MG



A partir desse mapeamento, foram retiradas as áreas dos quarteirões, de asfalto e as áreas verdes (Tabela 2). A sub-bacia do córrego Cachoeirinha com área de 15,75 km² possui 92,3% de sua área impermeável (70,8% de edificações, 21,5% de vias asfaltadas) e apenas 7,7% de áreas verdes.

Tabela 2 - Áreas permeáveis e impermeáveis da sub-bacia do córrego Cachoeirinha

Tipo e uso do solo	Área (m ²)
Quarteirão	11.144.170,23
Asfalto	3.384.708,53
Área Verde	1.215.961,62

Para o levantamento de permeabilidade foi considerado o solo arenoso conforme o Mapa de Solos do Brasil (IBGE, 2001). De acordo com esse estudo, o solo que tem em sua maioria na região de Belo Horizonte é o CX5 – Cambissolo, que são solos constituídos por material mineral, com horizonte B. São solos fortemente, até imperfeitamente, drenados, rasos a profundos, de cor bruna ou bruno-amarelada, e de alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração coloidal.

Diante desse cenário, foi simulado no *software* Excel, a transformação percentual das áreas de lotes em áreas verdes, com respectivo recálculo dos coeficientes de escoamento e das vazões de projeto para as intensidades de chuvas $I = 55,74$ mm/h, $I = 65,18$ mm/h, $I = 70,32$ mm/h e $I = 76,49$ mm/h, com tempo de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos respectivamente. As simulações mostraram que os percentuais “ótimos” de redução das áreas impermeáveis na sub-bacia do Cachoeirinha são: 37% com TR = 10 anos, 53% com TR = 25 anos, 60% com TR = 50 anos e 67% com TR = 100 anos.

Sabendo-se que o canal do córrego Cachoeirinha tem capacidade de transporte de 140 m³/s, que a duração crítica da chuva na bacia é de 1 hora, foram elaborados os hidrogramas de cheias nas condições atuais de uso e ocupação do solo (sem reduzir as áreas impermeáveis) e com a introdução de telhados verdes para os períodos de retorno iguais a 10, 25, 50 e 100 anos são mostrados nas Figuras 2 a 9.

Os resultados encontrados mostram que até 67% da precipitação com tempo de retorno de 100 anos pode ser armazenada no telhado verde e o volume não consumido pode ser utilizado e armazenado para usos não nobres (Köhler, 2001). A análise deste valor aproxima-se ao obtido por Khan (2001 *apud* TOMAZ, 2005) no qual foi calculado o valor médio do coeficiente de escoamento superficial (*runoff*) para telhados verdes igual a 0,27.

Figura 2 – Hidrogramas com as condições atuais de uso e ocupação do solo, TR = 10 anos

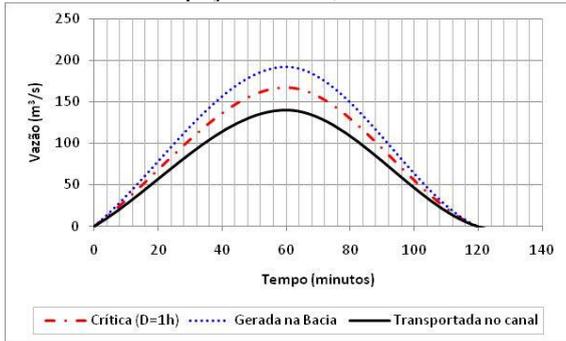


Figura 3 – Hidrogramas com redução de 37% da área impermeável, TR = 10 anos

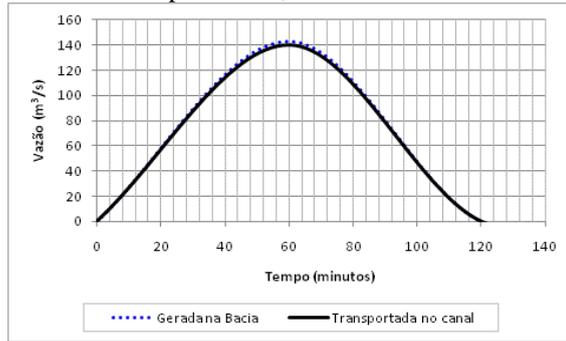


Figura 4 – Hidrogramas com as condições atuais de uso e ocupação do solo, TR = 25 anos

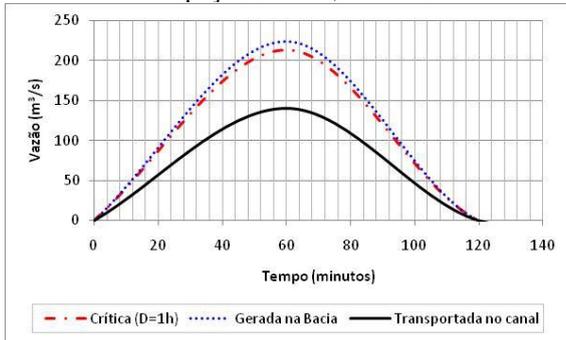


Figura 5 – Hidrogramas com redução de 53% da área impermeável, TR = 25 anos

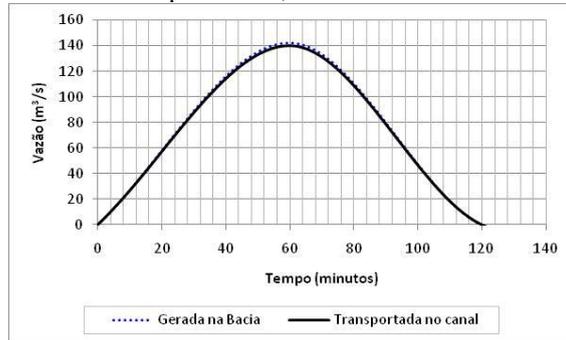


Figura 6 – Hidrogramas com as condições atuais de uso e ocupação do solo, TR = 50 anos

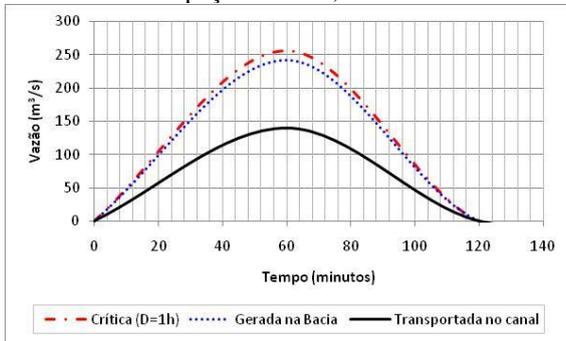


Figura 7 – Hidrogramas com redução de 60% da área impermeável, TR = 50 anos

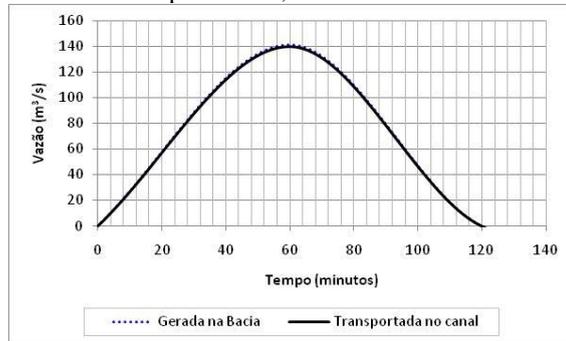


Figura 8 – Hidrogramas com as condições atuais de uso e ocupação do solo, TR = 100 anos

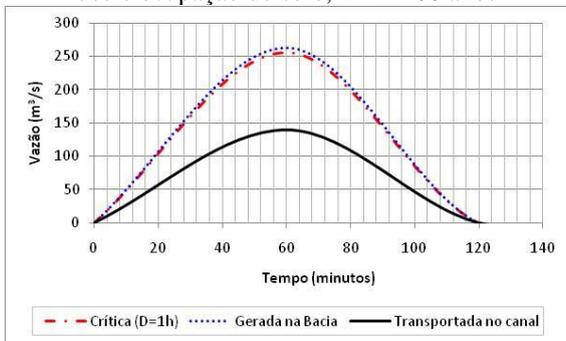
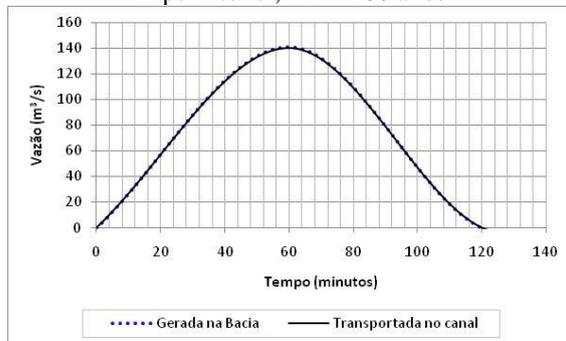


Figura 9 – Hidrogramas com redução de 67% da área impermeável, TR = 100 anos



Esse valor de coeficiente implica em uma perda para o aproveitamento de 73% de água pluvial, o que reduz o volume de aproveitamento da água de chuva pela captação através do telhado verde,

quando comparado aos telhados convencionais com escoamento superficial variando de 0,7 a 0,95. Conforme os autores, o valor do coeficiente de *runoff* racional varia de acordo com a intensidade das precipitações, e é apresentado na **Tabela 3**.

Tabela 3 – Variação do coeficiente de runoff em telhados verdes

Classificação	Quantidade de Chuva	Coefficiente de <i>Runoff</i>
Baixa	< 13mm	0,07
Média	13mm – 25mm	0,13
Alta	25mm – 39mm	0,25
Muito Alta	> 39mm	0,55

Fonte: TOMAZ (2005).

Para tanto, a proposta de intervenção apresentada foi a substituição de telhas convencionais pelo telhado verde, com a vegetação capaz de escoar a água e destiná-la a um local onde permanecerá armazenada, reduzindo assim a demanda e o acúmulo da água no ponto estudado. Logo, com a readequação dos telhados que se tornarão coberturas verdes, serão alcançados benefícios múltiplos a médio e longo prazos.

Além da redução da vazão dentre outras vantagens pode-se apontar o fator econômico e as vantagens ecológicas, pois toda essa água captada poderá ser armazenada em um reservatório e posteriormente poderá ser utilizada em usos não nobres, como regar plantas, limpar passeios, quintais, garagens e outras tarefas do cotidiano.

Nesse sentido, buscando-se aproveitamentos mais eficientes das águas pluviais, sugere-se, também, a adoção de jardins auto-irrigáveis, conforme proposto por NUNES *et al.* (2019).

5 CONCLUSÕES

Pode-se concluir por meio da análise dos dados da literatura e dos resultados deste estudo que adotar o telhado verde como recurso para minimizar as consequências causadas pelas chuvas pode ser uma solução para a sub-bacia do Cachoeirinha e demais localidades. A metodologia poderá ser implantada em planos diretores visando estimular a sociedade a adotar esse método por meio de incentivos fiscais, como descontos em impostos municipais. Dessa forma, pode-se ter um custo menor com obras públicas e mais eficiência ao executá-las. Com os resultados apresentados percebe-se que o telhado verde poderá ser conjugado a um sistema de aproveitamento de água de chuva.

REFERÊNCIAS

- BAPTISTA, Márcio; NASCIMENTO, Nilo; BARRAUD, Sylvie. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. 2ª Edição. Porto Alegre: ABRH, 2011. 318p.
- BEAN, Eban Z.; HUNT, William F.; BIDELESPACH, David A. Field survey of permeable pavement surface infiltration rates. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, ASCE 133 (3), 249–255, 2007.
- BING Maps. **Bing Satélite**, 2020. Disponível em: <https://www.bing.com/maps> Acesso em 28/05/2020.
- BOTELHO, Rosângela Garrido Machado. Bacias hidrográficas urbanas. In: GUERRA, Antonio José Teixeira (org.) **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 71-115.
- CANHOLI, Aluísio Pardo. Drenagem Urbana e Controle de Enchentes. 2ª edição ampliada e atualizada. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2014.
- COSTA, Silva. Utilização da fachada verde para a absorção da água de chuva visando a redução das enchentes urbanas. **Tese de Doutorado**. Centro Universitário Geraldo Di Biase. 2012.
- DE ABREU, Magda Luzimar. Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: de Nimer (1977) à Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Geonomos**, 1998.
- DRUMOND, Pedro de Paula. Estudo da influência da reservação de águas pluviais em lotes no município de Belo Horizonte, MG: Avaliação hidráulica e hidrológica. Belo Horizonte: **Dissertação de Mestrado**, UFMG, 2012. 204p.
- FASSMAN, Elizabeth A., BLACKBOURN, Samuel. Urban runoff mitigation by a permeable pavement system over impermeable soils. **Journal of Hydrologic Engineering**, ASCE 15(6), 475–485, June-2010. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000238](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000238) Acesso em 16/06/2020.
- FONTES, Andréa Regina Martins; BARBASSA, Ademir Paceli. Diagnóstico e prognóstico da ocupação e da impermeabilização urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 137-147, 2003.
- GREBEL, Janel E.; MOHANTY, Sanjay K.; TORKELSON, Andrew A.; BOEHM, Alexandria B.; HIGGINS, Christopher P.; MAXWELL, Reed M.; NELSON, Kara L.; SEDLAK, David L. Engineered infiltration systems for urban stormwater reclamation. **Environmental Engineering Science**, 30 (8), 437–454. Special Issue: Reinventing Urban Water Infrastructure. Aug 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/ees.2012.0312> Acesso em 16/06/2020.
- GUIMARÃES, Márcia Maria. **Hidrologia de bacias hidrográficas: notas de aula**. Centro Universitário UNA, janeiro/2019, 164p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2001). **Mapa de Solos do Brasil**. Disponível em: ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/brasil/solos.pdf Acesso em 28/05/2020.

_____ (2010). **Censos demográficos**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=6> Acesso em 06/07/2020.

_____ (2017). **Bases cartográficas contínuas**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html> Acesso em 06/07/2020.

KÖHLER, M., SCHMIDT, M., SICKERMANN, J. Greened roofs and the technique of water harvesting; a **Synergistic Combination**, sd. 2001.

NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). USGS Science for a changing world. 2020. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Acesso em 18/09/2020.

NETO, Pedro de Souza Garrido. Telhados verdes associados com sistema de aproveitamento de água de chuva: projeto de dois protótipos para futuros estudos sobre esta técnica compensatória em drenagem urbana e prática sustentável na construção civil. Rio de Janeiro, Brasil: **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Rio de Janeiro-Escola Politécnica, 2012.

NUNES, Aline de Araújo; OLIVEIRA, Dayana Corrêa; SILVA, Diego; PACIDONIO, Eteiele Casagrande; AMARAL, Jordânia Heloíse do; MOREIRA, Paloma Cristina Marcelino; PRUDENCINI, Rubens Leonardo Silva. Jardim autoirrigável: solução sustentável para o aproveitamento de águas pluviais. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.5, n. 10, p. 22744-22750, Novembro/2019 ISSN 2525-8761. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/4268> Acesso em 20/11/2020.

PBH-PRODABEL – Prefeitura de Belo Horizonte-Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte S/A. **Mapas do município para download**, 2020. Disponível em: <http://bhmap.pbh.gov.br/v2/mapa/idebhgeo#zoom=4&lat=7796893.0925&lon=609250.9075&baselayer=base> Acesso: 07/03/2020.

PINHEIRO, Márcia Maria Guimarães. Estudo de chuvas intensas na Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH. Belo Horizonte, EE-UFMG: **Dissertação de Mestrado**. 1997, 216p.

PINHEIRO, Márcia Maria Guimarães; NAGHETTINI, Mauro da Cunha. Análise regional de frequência e distribuição temporal das tempestades na Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.3, n.4, p.73-88. Out/Dez-1998.

PLANO METROPOLITANO RMBH. **Bases Cartográficas**. 2020. Disponível em: <http://www.rmbh.org.br/central-cartog.php> Acesso em 06/07/2020.

PORTO, Rubem La Laina. Escoamento superficial direto. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.; BARROS, M.T. DE (organizadores). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre-RS: ABRH / Editora da Universidade/UFRGS, 1995.

QGIS. **QGIS Desktop User Guide/Manual (QGIS Testing)**. © Copyright 2002-now, Disponível em: https://docs.qgis.org/testing/en/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html#figure-idw-interpolation Acesso: 04/08/2020.

SIMÕES, Jorge Gabriel Gomes; JARDIM, Carlos Henrique; PARIZZI, Maria Giovana. Análise do risco de enchentes e inundações na av.Cristiano Machado, Belo Horizonte, MG. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 8, p. 867–880, 2012.

SUDECAP-Superintendência de Desenvolvimento da Capital. Consolidação do diagnóstico das enchentes na bacia do córrego Cachoeirinha e dos ribeirões Pampulha e da Onça. **Volume I: Avaliação e consolidação dos estudos hidrológicos.** Estudos realizados pela POTAMOS Engenharia e Hidrologia Ltda. 84p., 2011-a.

_____ **Volume II: Avaliação e diagnóstico da capacidade hidráulica do sistema de macrodrenagem.** Estudos realizados pela POTAMOS Engenharia e Hidrologia Ltda. 67p., 2011-b.

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