

# BENEFÍCIOS DA IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS SOB CENÁRIOS DISTINTOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

## Benefits of implementing best management practices under different land use scenarios

Samuel Almeida Dutra Júnior<sup>1</sup>, Frederico Carlos Martins de Menezes Filho<sup>2</sup>



### PALAVRAS CHAVE:

Drenagem urbana;  
Melhores práticas de manejo;  
Infraestrutura verde;  
Coeficiente de Runoff;  
DIMGAP 1.0.

### KEYWORDS:

Urban drainage;  
Best management practices;  
Green Infrastructure;  
Runoff Coefficient;  
DIMGAP 1.0.

**RESUMO:** Devido ao desenvolvimento das cidades e a redução de áreas verdes, o aumento do escoamento superficial acaba se tornando um problema de drenagem urbana. Uma das possíveis soluções para o problema são as técnicas compensatórias ao manejo das águas pluviais. O presente trabalho avaliou os custos advindos da substituição do sistema clássico de drenagem pelas técnicas compensatórias, a saber telhados verdes e pavimentos permeáveis. Para tal, tomou-se como área de estudo um loteamento idealizado na cidade de Rio Paranaíba-MG. O dimensionamento das galerias de águas pluviais e levantamento dos custos envolvidos para a execução das mesmas foram realizados pelo software DIMGAP 1.0. Estabeleceram-se cenários distintos de uso e ocupação do solo para avaliação econômica da implantação dos telhados verdes e dos pavimentos permeáveis. Não obstante, considerou-se em alguns cenários a manutenção de áreas permeáveis. Os resultados obtidos demonstram a baixa viabilidade econômica, a curto prazo, da adoção das técnicas compensatórias. Por outro lado, verificou-se que apesar do alto investimento associado às melhores práticas de manejo, destacam-se os benefícios hidrológicos como a redução das vazões de pico, a redução de extensões e diâmetros de galerias e o aumento do tempo de concentração; justificando a longo prazo a complementariedade das técnicas compensatórias ao sistema convencional.

**ABSTRACT:** Due to the development of cities and the reduction of green areas, runoff becomes an urban drainage problem. One possible solution to the problem is the use of best management practices. This paper aims to evaluate the costs of replacing the classic drainage system with best management practices, namely green roofs and permeable pavements. For such, it was taken as a study area an allotment idealized in the city of Rio Paranaíba-MG. The design of the stormwater drains and the survey of costs involved in their execution were performed by DIMGAP 1.0 software. Different scenarios of land use were established for economic evaluation of the implementation of green roofs and permeable pavements. Nevertheless, in some scenarios the maintenance of permeable areas was also considered. The results show the low economic viability, in the short term, of the adoption of best management practices. On the other hand, despite the high investment associated with the best management practices, the hydrological benefits stand out, such as the reduction of peak flow rates, the reduction of stormwater drains lengths and diameters, and the increased time of concentration; justifying in the long term the complementarity of best management practices to the classical drainage system.

\* Contato com os autores:

Publicado em 24 de maio de 2022

<sup>1</sup> e-mail: [eng.samueldutrajr@gmail.com](mailto:eng.samueldutrajr@gmail.com) (S. A. Dutra Júnior)

Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Campus Rio Paranaíba.

<sup>2</sup> e-mail: [frederico.menezes@ufv.br](mailto:frederico.menezes@ufv.br) (F. C. M. Menezes Filho)

Engenheiro Civil, Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Professor Adjunto, Universidade Federal de Viçosa, Campus Rio Paranaíba.

## 1. INTRODUÇÃO

Devido ao alto crescimento populacional das cidades, suas respectivas áreas verdes vêm sendo reduzidas pela necessidade de urbanização (SAVI, 2012). Tal fato, provoca um aumento significativo no escoamento superficial e redução do tempo de concentração das bacias, em virtude do aumento da impermeabilização do solo (ALAMY et al., 2016).

Neste sentido, as melhores práticas de manejo ou também chamadas no Brasil de técnicas compensatórias (BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUND, 2005) se apresentam como possíveis soluções para esses impactos no meio urbano (RANGEL, ARANHA e DA SILVA, 2015), constituindo-se soluções ao manejo das águas pluviais. Dentre essas, destacam-se os telhados verdes e os pavimentos permeáveis.

Os telhados verdes são estruturas formadas por uma sucessão de camadas de materiais que possuem diversas funcionalidades, favorecendo eficiência quanto ao controle quantitativo de águas pluviais em áreas urbanizadas, podendo ocupar de forma parcial ou total, coberturas de edificações (SCARASSATTI, 2019; ARBOIT, 2017). São encontrados, com maior frequência, telhados verdes constituídos de vegetação, substrato, filtro geotêxtil, material drenante, barreira contra raízes, membrana impermeabilizante, faixa de isolamento e camada estrutural (VIJAYARAGHAVAN, 2016).

Além da redução de áreas impermeáveis, que por sua vez reduzem as vazões nas redes coletoras, os telhados verdes impactam de modo positivo na qualidade do ar e das águas pluviais, favorecendo a biodiversidade, reduzindo o efeito de ilhas de calor e contribuindo com o paisagismo, em centros urbanos (ALAMY et al., 2016; SAVI, 2012; BENGTTSSON, GRAHN e OLSSON, 2004).

Palmeira (2016) aborda também o isolamento térmico em edificações decorrente do uso de telhados verdes. Em seu estudo, foi observado que no ambiente com cobertura composta por telhado verde, a temperatura interna esteve menor que a externa, em períodos quentes, e maior em períodos frios.

Salienta-se que no Brasil, por enquanto, trata-se de um sistema construtivo não muito utilizado, refletindo em um custo inicial elevado. Entretanto, devido a economia de energia elétrica proporcionada pela climatização que o sistema oferece, há retorno do investimento a longo prazo (SILVA, SIQUEIRA e ARAGÃO, 2017).

Em relação aos pavimentos permeáveis, pode-se dizer que, originalmente, eram utilizados para permitir infiltração de águas pluviais em ambiente urbanos, substituindo áreas impermeáveis. Tais pavimentos, atualmente, podem ser usados em conjunto com reservatórios de brita sob sua estrutura, agregando amortecimento e infiltração para o sistema (OLIVEIRA, 2018).

O concreto utilizado para a execução de pavimentos permeáveis é constituído dos mesmos materiais utilizados para a execução de um concreto tradicional. No entanto, sua permeabilidade é possibilitada pela baixa quantidade de areia e água, quando comparadas à quantidade de agregado gráudo da composição, formando assim, uma pasta em torno do agregado, sem preencher totalmente os vazios, proporcionando assim passagem de água (THOMLE, 2010).

De modo complementar, Araújo, Tucci e Goldenfum (2000) afirmam que os pavimentos permeáveis, por não possuírem a mistura de agregados finos na superfície da estrutura, constituem-se alternativas para redução de áreas impermeáveis, propiciando redução da vazão máxima de saída da bacia e de volumes de escoamento superficial.

No trabalho de Becker e Pinheiro (2019), verificou-se também como vantagem da utilização dos pavimentos permeáveis a eficiência desse sistema para reter poluentes advindos de escoamentos superficiais, apresentando redução de valores superiores a 70% para sólidos suspensos totais e 90% para metais pesados, através de processos físicos, químicos e biológicos.

No Brasil, segundo Ono, Balbo e Cargnin (2017) os pavimentos permeáveis mais utilizados são o CAP (concreto asfáltico poroso), concreto de cimento Portland poroso e os blocos intertravados de concreto.

Dada a falta de normas que regulamentam o uso de tais estruturas no Brasil, apesar do conhecimento dos benefícios destas no tocante ao manejo das águas pluviais, a sua execução torna-se de difícil aplicação dentro de projetos de drenagem urbana. Tal fato pode implicar em prejuízos, uma vez que essa prática poderia minimizar os efeitos dos escoamentos superficiais, como enchentes em centros urbanos.

Em paralelo, tem-se a estreita relação entre a urbanização e o aumento da frequência de inundações no meio urbano associada ao aumento das áreas impermeáveis. Como exemplos da referida relação, citam-se os trabalhos realizados em Belo Horizonte por Lima-Queiroz et al. (2003 apud BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2005), em São Carlos-SP por Mendes e Menciondo (2007) e, em Cuiabá, por Menezes Filho e Amaral (2014).

Tal crescimento urbano, que ocorre distante do núcleo central e em direção à periferia, traz consigo também impactos ambientais sobre áreas de nascentes e áreas de preservação permanente; não ocorrendo somente para capitais, mas também em municípios de pequeno e médio porte.

Neste enfoque, cita-se o município de Rio Paranaíba-MG, situado na região do Alto Paranaíba que passou por um crescimento populacional de 15,3 % no período de 2007 a 2017, gerando problemas ao saneamento ambiental na cidade com destaque aos alagamentos na região central, intermitência na distribuição de água e problemas de resíduos sólidos (MENEZES FILHO e RODRIGUES, 2017).

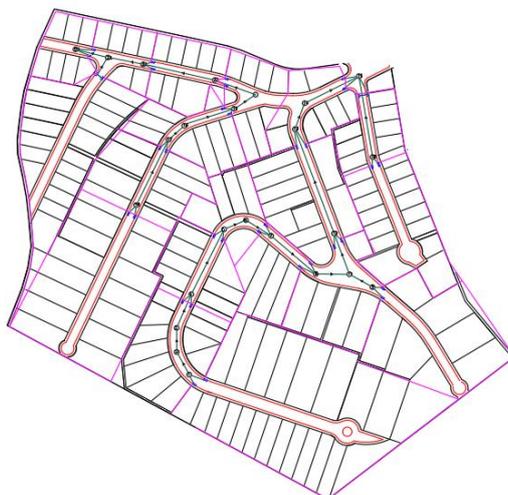
## 2. OBJETIVO

O presente trabalho tem por objetivo avaliar, em distintos cenários de uso e ocupação do solo, os benefícios advindos da implantação de técnicas compensatórias em um condomínio situado no município de Rio Paranaíba-MG.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo apresentada na Figura 1 possui 12,05 hectares e consiste em um loteamento residencial com 170 lotes, idealizado para o estudo tomando-se a cidade de Rio Paranaíba – MG como sua localização.



**FIGURA 1:** Área de estudo.

**FONTE:** Autoria Própria (2019).

Considerou-se para a análise econômica das técnicas compensatórias, a saber telhados verdes e pavimentos permeáveis, cenários de avaliação com alternância de áreas verdes, permeáveis e impermeáveis para o sistema de drenagem do referido loteamento.

### 3.2 COEFICIENTE DE RUNOFF (C)

O coeficiente de runoff (C) é o coeficiente que representa a porcentagem da precipitação que se transforma em escoamento superficial ao atingir uma superfície de certo material ou região, por exemplo. É utilizado para estimativa de vazões como no Método Racional. Seus valores são tabelados, variando entre 0 e 1. Quanto maior for o valor assumido para C, maior é a impermeabilidade da superfície ou área e, por consequência, maior o escoamento superficial.

Para áreas compostas por diferentes superfícies ou regiões, faz-se a média ponderada entre os valores de C para cada superfície específica, conforme Equação 1.

$$C_t = \frac{\sum A_p * C}{\sum A} \quad \text{Eq. [1]}$$

Em que:

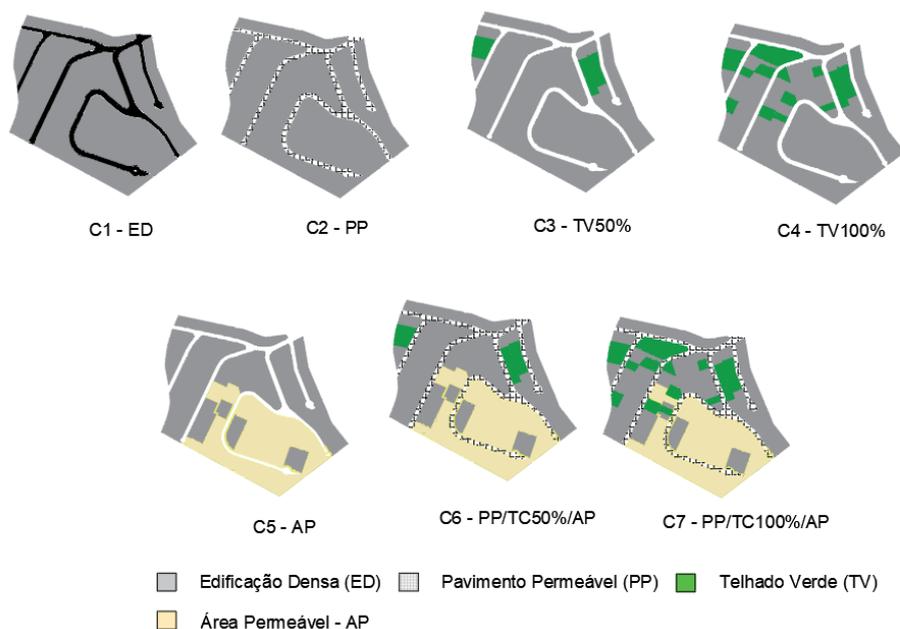
- C<sub>t</sub>** = Coeficiente de runoff do conjunto de superfícies;
- A<sub>p</sub>** = Área relativa à ocupação de cada superfície (m<sup>2</sup>);
- C** = Coeficiente de runoff para cada superfície;
- A** = Área total (m<sup>2</sup>).

### 3.3 CENÁRIOS AVALIADOS

Foram idealizados sete cenários, alternando áreas de superfícies permeáveis e impermeáveis, ilustrados na Figura 2 e detalhados na Tabela 1. Tal imposição modifica o coeficiente de escoamento superficial a ser utilizado no Método Racional para estimativa de vazões, no intuito de avaliar a redução do escoamento superficial com a utilização das técnicas compensatórias.

Os cenários idealizados foram:

- Cenário 1 (C1 - ED): Cenário de edificação densa, sem áreas permeáveis; em que o telhado terá estrutura comum e o pavimento feito com CBUQ.
- Cenário 2 (C2 - PP): Cenário composto por áreas de edificação densa e pavimentos permeáveis;
- Cenário 3 (C3 – TV50%): Cenário composto por edificação densa e aplicação de telhado verde em 50 por cento de área disponível;
- Cenário 4 (C4 – TV100%): Cenário composto por edificação densa e aplicação de telhado verde em 100 por cento de área disponível;
- Cenário 5 (C5 – AP): Cenário composto onde 70 por cento da área é composta por edificação densa e 30 por cento de área permeável;
- Cenário 6 (C6 – PP/TV50%/AP): Cenário composto por edificação densa, pavimento permeável, área permeável e telhados verdes ocupando 50 por cento de área disponível;
- Cenário 7 (C7 – PP/TV100%/AP): Cenário composto por edificação densa, pavimento permeável, área permeável e telhados verdes ocupando 100 por cento de área disponível.



**FIGURA 2:** Configurações de Técnicas Compensatórias.

**FONTE:** Autoria Própria (2019).

**TABELA 1:** Porcentagem e área utilizada

Cenários	Área utilizada (%)				C
	Edificação densa	Pavimento Permeável	Área permeável	Telhado Verde	
C1 - ED	100,00	0,00	0,00	0,00	0,80
C2 - PP	87,83	12,17	0,00	0,00	0,75
C3 - TV50%	91,54	0,00	0,00	8,46	0,76
C4 - TV100%	83,08	0,00	0,00	16,92	0,71
C5 - AP	70,00	0,00	30,00	0,00	0,62
C6 - PP/TV50%/AP	55,55	12,17	23,81	8,46	0,56
C7 - PP/TV100%/AP	49,63	12,17	21,27	16,92	0,48

**FONTE:** Autoria Própria (2019).

### 3.4 DIMENSIONAMENTOS DAS GALERIAS

O dimensionamento das galerias de águas pluviais e a estimativa de custos para o referido sistema de drenagem foram realizados pela utilização do software DIMGAP 1.0 (ZAQUE e MENEZES FILHO, 2011). Tal programa baseia-se nas equações propostas por Menezes Filho (2007) e que, segundo Camargo et al. (2018), reduzem o tempo gasto para o dimensionamento de galerias pluviais, antes realizado por tabelas.

Deve-se salientar que através do uso desse software é possível também avaliar os benefícios advindos dos cenários estudados, como a redução de vazões de pico e aumento do tempo de concentração.

O software DIMGAP 1.0 requer os seguintes dados de entrada: escolha de equação de chuva, definição do período de retorno (T), diâmetro (D), coeficiente de Manning (n), cotas de montante e jusante do terreno e extensão do trecho para determinar a velocidade e relação altura-diâmetro. Caso estas duas variáveis estejam fora dos limites estabelecidos, o programa informa ao usuário a necessidade de ajustes como, por exemplo, a exclusão de galerias para o trecho em estudo ou a troca de diâmetro.

Os custos dos serviços referentes à implantação das galerias de águas pluviais são visualizados trecho a trecho e acumulados para obtenção do custo final. Há no programa a opção para estimativa de custos por trecho e de todo o sistema, ambas utilizadas neste trabalho.

Deste modo, os custos requeridos são associados ao tipo de escavação, escoramento, reaterro, instalações de poços de visita e manilhas de concreto para a execução da galeria (Apêndice A).

No DIMGAP 1.0, a intensidade pluviométrica foi calculada com base na equação i-d-f, apresentada pela Equação 2, adotando-se os parâmetros obtidos pelo software Plúvio 2.1 para a cidade de Rio Paranaíba-MG (GPRH, 2018). Para o período de retorno adotou-se o valor de 5 anos.

$$i = \frac{1472,679 * T^{0,175}}{(t + 15,594)^{0,765}} \quad \text{Eq. [2]}$$

Em que:

**i** = Intensidade de chuva (mm/hora);

**T** = Período de retorno (anos);

**t** = duração da chuva (minutos).

Ressalta-se que para o dimensionamento das galerias, considerou-se que:

- O valor de 30% adotado para áreas permeáveis nos cenários 5, 6 e 7, baseia-se nas leis: Lei Complementar N° 16.402/2014 (SÃO PAULO, 2014) de uso e ocupação de solo para a cidade de São Paulo, onde aponta-se uma porcentagem reservada a áreas permeáveis, de acordo com o tipo de uso do solo e na Lei Complementar N° 7.166/1996 (Lei de uso e ocupação do solo, atualizada em 2016), que estipula o uso de área verde entre 10 a 30% para lotes situados na cidade de Belo Horizonte. Cidades próximas à área de estudo também possuem diretrizes para a ocupação do solo, como Patrocínio-MG, onde 10% da área do lote deve ser contemplada com áreas permeáveis (Lei Complementar N°132/2014) e as cidades de Uberlândia e Patos de Minas que, por meio das Leis Complementares N° 525/2011 e N°320/2008 respectivamente, exigem 20% de área não impermeável (SILVA e MENEZES FILHO, 2019).
- Adotou-se uma edificação unifamiliar padrão de classe média com área edificada em planta de 120m<sup>2</sup>, com dimensões de 8x15 m, baseando-se nas medidas propostas por Oliveira (2019).

Por meio da literatura, estabeleceram-se os valores do coeficiente de escoamento superficial para as técnicas compensatórias utilizadas neste trabalho. Consoante Khan (2001 apud ANNECCHINI, 2005), adotou-se para os telhados verdes o valor para C de 0,27. Já para os pavimentos permeáveis do tipo bloco intertravado, o valor utilizado foi de 0,37 (ALESSI, KOKOT e GOMES, 2006). Para estrutura densa e área permeável, adotou-se, respectivamente, os valores de 0,8 e 0,2.

### 3.4.1 Pavimento permeável e CBUQ

Segundo Acioli (2005), o custo de implantação de pavimento de blocos intertravados é 23% superior, quando comparado ao pavimento com asfalto comum.

Dessa forma, foi realizado um levantamento de custos para a execução de um pavimento utilizando CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente), tendo como referência a tabela SINAPI referente a outubro de 2019, cujos itens utilizados para o orçamento são apresentados na Tabela 2. Em seguida, estimou-se o valor para o pavimento de blocos intertravados.

**Tabela 2:** Composição do custo de execução de pavimento utilizando CBUQ

Item	Descrição	Unid.	R\$/Unid.
34770	Concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) para pavimentação asfáltica, padrão DNIT, faixa c, com cap 30/45 - aquisição posto usina	m <sup>2</sup>	31,7
96402	Execução de imprimação ligante (pintura de ligação) com emulsão asfáltica rr-2c. Af_09/2017	m <sup>2</sup>	1,32
96392	Execução e compactação de base e ou sub base com solo cimento (teor de cimento igual a 8%) - exclusive escavação, carga e transporte e solo. Af_09/2017 - para sub-base com 15 cm	m <sup>2</sup>	18,24
96392	Execução e compactação de base e ou sub base com solo cimento (teor de cimento igual a 8%) - exclusive escavação, carga e transporte e solo. Af_09/2017 - para base com 10 cm	m <sup>2</sup>	12,16
72961	Regularização e compactação de subleito até 20 cm de espessura	m <sup>2</sup>	1,25
Total (R\$/m <sup>2</sup> )			64,67

FONTE: Autoria Própria (2019).

Para o levantamento de custos, considerou-se um pavimento com 15 cm de sub-base, 10 cm de base e 4 cm de revestimento. Deve-se destacar que para o cálculo de custo de base e sub-base, avaliou-se o mesmo item da SINAPI, uma vez que tal item se aplica às duas estruturas.

Após definir os itens para composição de custos, calculou-se o valor por metro quadrado para a construção do pavimento.

A partir da definição da área disponível no loteamento a ser pavimentada, quantificou-se o valor total de pavimento comum. Por fim, definiu-se qual seria a área que poderia ser pavimentada e foi possível quantificar o valor total utilizado, com o uso do CBUQ apresentada na Equação 3.

$$CT_{cbuq} = VU_{cbuq} * A \quad \text{Eq. [3]}$$

Em que:

**CT<sub>cbuq</sub>** = Custo total de pavimento com CBUQ (R\$);

**VU<sub>cbuq</sub>** = Custo por metro quadrado de pavimento com CBUQ (R\$);

**A** = Área de pavimentação em metros quadrados (m<sup>2</sup>).

Dessa forma, obteve-se o valor do investimento para a execução de um pavimento com blocos intertravados pela Equação 4.

$$VT_{PP} = VU_{CBUQ} * 1,23 \quad \text{Eq. [4]}$$

Em que:

**VT<sub>pp</sub>** = Valor total de pavimento permeável com bloco intertravado (R\$).

### 3.4.2 Telhado verde

Savi (2012) apresenta diversas estruturas de telhados verdes e seus respectivos custos por m<sup>2</sup>. Das estruturas apresentadas, escolheu-se o telhado verde tipo vernacular, cujo valor é de 182,06 R\$/m<sup>2</sup> uma vez que atendia às necessidades do loteamento, com o menor custo.

Dessa forma, para obter o valor total do investimento utilizou-se a Equação 5.

$$VT_{TV} = VU_{TV} * A * NL \quad \text{Eq. [5]}$$

Em que:

**VT<sub>tv</sub>** = Valor total de telhado verde (R\$);

**VU<sub>tv</sub>** = Valor de telhado verde por metro quadrado (R\$);

**A** = Área da casa utilizada (m<sup>2</sup>);

**NL** = Número de lotes.

### 3.4.3 Telhado comum

Utilizando-se a tabela SINAPI, fez-se uma composição de custos para uma casa com as mesmas dimensões usadas no cálculo de custo do telhado verde. Após definido o valor por casa, tal valor foi dividido pela área da mesma e assim obteve-se o preço por metro quadrado de telhado comum. Os itens que foram utilizados estão na Tabela 3.

Tabela 3: Itens SINAPI telhado comum			
Item	Descrição	Unid.	R\$/Unid.
92540	Trama de madeira composta por ripas, caibros e terças para telhados de mais que 2 águas para telha de encaixe de cerâmica ou de concreto, incluso transporte vertical. Af_07/2019	m <sup>2</sup>	64,17
94198	Telhamento com telha cerâmica de encaixe, tipo portuguesa, com mais de 2 águas, incluso transporte vertical. Af_07/2019	m <sup>2</sup>	26,39
92262	Instalação de tesoura (inteira ou meia), biapoiada, em madeira não aparelhada, para vãos maiores ou iguais a 10,0 m e menores que 12,0 m, incluso içamento. Af_07/2019	Unid.	482,3
94219	Cumeeira e espigão para telha cerâmica emboçada com argamassa traço 1:2:9 (cimento, cal e areia), para telhados com mais de 2 águas, incluso transporte vertical. Af_07/2019	M	21,87
			R\$/Casa 12159,85
			R\$/m <sup>2</sup> 101,33

Fonte: Autoria Própria (2019).

Com o custo por metro quadrado, foi possível a obtenção do valor total para implantação do telhado comum (Equação 6).

$$VT_{TC} = VU_{TC} * A * NL \quad \text{Eq. [6]}$$

Em que:

**VT<sub>tc</sub>** = Valor total de telhado comum (R\$);

**VU<sub>tc</sub>** = Valor de telhado comum por metro quadrado (R\$);

**A** = Área da casa (m<sup>2</sup>);

**NL** = Número de lotes.

### 3.5 ÁREA PERMEÁVEL

O custo para áreas permeáveis foi considerado nulo, uma vez que se trata de áreas destinadas a jardins, hortas ou apenas áreas onde águas pluviais consigam se infiltrar.

### 3.6 BENEFÍCIO FINANCEIRO

Através do levantamento de custos para implantação da galeria, dos telhados verdes e pavimentos permeáveis, foi possível comparar os valores e analisar se há um benefício financeiro, utilizando a Equação 7.

$$BF = EG - CTC \quad \text{Eq. [7]}$$

Em que:

**BF** = Benefício financeiro (R\$);

**EG** = Economia gerada nas galerias (R\$);

**CTC** = Custo para a implantação das técnicas compensatórias (R\$);

A Equação 7, busca avaliar a redução de custos com a implantação de galerias, quando as técnicas compensatórias são utilizadas e conseqüentemente, propiciam redução das vazões geradas pelo aumento de áreas verdes. Ressalta-se que aqui não se contabilizam outros ganhos das estruturas compensatórias como sequestro de carbono, redução de consumo de energia elétrica, recarga do lençol freático, dentre outros. Caso o valor de BF seja negativo, têm-se que os custos para implantação dos telhados verdes e pavimentos permeáveis, superam a economia gerada nas galerias; indicando maiores gastos e investimentos para a drenagem. Caso contrário, teremos menores gastos; indicando que a economia pela utilização de diâmetros inferiores, supera os investimentos com as técnicas compensatórias.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 EFICIÊNCIA HIDROLÓGICA DOS CENÁRIOS

A avaliação dos cenários que incluem técnicas compensatórias permite observar diversos benefícios, que são apresentados na Tabela 4, como a diminuição da extensão de trechos com maior diâmetro de galerias ou até mesmo a ausência de diâmetro como de 1000 mm (C5, C6 e C7).

Tabela 4: Extensões por diâmetros

Cenários	Diâmetro (mm)				C
	400	600	800	1000	
Extensão (m)					
<b>C1 - ED</b>	22,71	461,73	447,27	55,1	0,80
<b>C2 - PP</b>	85,69	424,34	421,68	55,1	0,75
<b>C3 - TV50%</b>	85,69	424,34	421,68	55,1	0,76
<b>C4 - TV100%</b>	85,69	504,19	341,83	55,1	0,71
<b>C5 - AP</b>	104,45	545,53	336,83	-	0,62
<b>C6 - PP/TV50%/AP</b>	179,46	508,24	299,11	-	0,56
<b>C7 - PP/TV100%/AP</b>	284,3	403,4	299,11	-	0,48

FONTE: Autoria Própria (2019).

Observa-se que nos cenários 5, 6 e 7 houve exclusão de trechos com diâmetros de 1000 mm, bem como evidencia-se o aumento percentual de 1.151,87% entre os cenários C1 e C7 quanto à utilização superior de trechos com diâmetro inferior de 400 mm.

Tais medidas impactam sobremaneira a rede de drenagem pública, visto que a redução de diâmetros obtida no loteamento proporcionará a jusante menor diâmetro, e conseqüente redução de custos a serem empregados pela administração municipal. Conjuntamente, do ponto de vista hidrológico, há a redução das vazões e volume de escoamento superficial direto, com a presença de áreas verdes ou estruturas compensatórias.

Outro resultado que merece destaque é a redução da vazão máxima de saída do loteamento em função do coeficiente de runoff e o aumento do valor do tempo de concentração, apresentados na Tabela 5.

Nota-se a redução de 1,04 m<sup>3</sup>/s, o que equivale a diminuição de 40% do cenário 1 para o cenário 7. Em menor proporção, verifica-se o aumento de 2% no valor do tempo de concentração, o que mostra uma redução da velocidade de escoamento sem a redução de trechos.

Tais fatores agregam muito à funcionalidade do projeto, uma vez que a redução de vazões no loteamento e o aumento do tempo de concentração propiciarão menor risco de alagamento à jusante tão quanto menor sobrecarga ao sistema público de drenagem.

**Tabela 5: Vazão de pico, tempo de concentração e coeficiente de Runoff**

Cenários	Vazão de pico (m <sup>3</sup> /s)	Tempo de concentração (minutos)	C
C1 - ED	2,60	12,04	0,80
C2 - PP	2,44	12,07	0,75
C3 - TV50%	2,47	12,07	0,76
C4 - TV100%	2,31	12,02	0,71
C5 - AP	2,01	12,13	0,62
C6 - PP/TV50%/AP	1,82	12,23	0,56
C7 - PP/TV100%/AP	1,56	12,28	0,48

FONTE: Autoria Própria (2019).

Analisando os valores do coeficiente de escoamento (C), é possível notar o baixo impacto que os telhados verdes e pavimentos permeáveis causam quando utilizados de modo único, uma vez que, nos cenários 2, 3 e 4, houve uma redução máxima de 0,09 no valor para o coeficiente de runoff. Todavia, o coeficiente de escoamento superficial é dependente da área disponível para tais estruturas; podendo assumir valores diferentes dos arbitrados para este trabalho.

Sendo assim, ressalta-se que a observância dos dispositivos legais e a consciência da população acerca dos benefícios da manutenção das áreas verdes, podem auxiliar na mitigação dos problemas das inundações urbanas. Logo, é notória a importância de uma fiscalização adequada consoante às diretrizes especificadas, quando existentes, em cada município.

#### 4.2 CUSTO DE IMPLATAÇÃO DAS GALERIAS DE ÁGUAS PLUVIAIS

Ao realizar os dimensionamentos no DIMGAP 1.0, os custos obtidos para os 7 cenários são apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6: Custos de galerias**

Cenários	C	Custo de galeria (R\$)	Economia gerada (R\$) (EG)
C1 - ED	0,80	356.198,96	0,00
C2 - PP	0,75	350.474,34	5.724,62
C3 - TV50%	0,76	350.977,97	5.220,99
C4 - TV100%	0,71	345.659,71	10.539,25
C5 - AP	0,62	336.263,04	19.935,92
C6 - PP/TV50%/AP	0,56	327.129,96	29.069,00
C7 - PP/TV100%/AP	0,48	318.734,80	37.464,16

FONTE: Autoria Própria (2019).

Por meio da Tabela 6, verifica-se o aumento gradativo da economia gerada nos custos envolvidos com as galerias de águas pluviais, visto o aumento das áreas permeáveis e consequente redução do escoamento superficial na área de estudo.

Enfatizando o que já foi abordado anteriormente, nota-se que a maior economia se deu no último cenário, com economia gerada na implantação de galerias na ordem de R\$ 37.464,16. Tal valor se explica pelo fato de nesse cenário ocorrer o maior investimento em estruturas verdes, acarretando a maior redução de escoamento superficial com redução em maior escala do custo para execução de galerias.

#### 4.3 CUSTO PARA IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS

Na Tabela 7 pode-se visualizar o investimento necessário para a execução das técnicas compensatórias em seus respectivos cenários.

**Tabela 7:** Custo de implantação de técnicas compensatórias

Cenários	C	Custo de implantação relativo ao cenário (pavimento + telhado) (R\$)	Investimento - Técnicas compensatórias (R\$)
C1 - ED	0,80	3.016.159,08	0,00
C2 - PP	0,75	3.234.435,30	218.276,23
C3 - TV50%	0,76	3.839.605,08	823.446,00
C4 - TV100%	0,71	4.663.051,08	1.646.892,00
C5 - AP	0,62	3.016.159,08	0,00
C6 - PP/TV50%/AP	0,56	4.057.881,30	1.041.722,23
C7 - PP/TV100%/AP	0,48	4.881.327,30	1.865.168,23

FONTE: Autoria Própria (2019).

Analisando os dados mostrados, pode-se notar o alto valor de investimento inicial para instalação das técnicas compensatórias, principalmente o telhado verde, uma vez que os cenários compostos por tal estrutura possuem os maiores valores.

Outro destaque é o cenário 5, onde se tem apenas a inclusão de áreas permeáveis, e que não demandaria alto investimento para a sua implantação, reduzindo assim, em magnitude o valor para a execução da estrutura do loteamento; apresentando também benefícios hidrológicos como redução da vazão de pico e aumento do tempo de concentração.

#### 4.4 BENEFÍCIO FINANCEIRO

Comparando o custo de execução de galerias e o valor aplicado para sua respectiva configuração de técnicas compensatórias, pode-se notar pela Tabela 8, que na maioria dos cenários, o valor do investimento em tais estruturas, quando analisado de maneira imediata, supera a economia gerada por elas nos sistemas de drenagem. Isso ocorre devido ao alto valor de investimento nas estruturas permeáveis.

Entretanto, neste estudo não se avaliou o benefício econômico a longo prazo que essas estruturas agregam à área de estudo, uma vez que elas auxiliam, por exemplo, na economia de energia elétrica e possível aproveitamento de águas pluviais, reduzindo gastos que, futuramente, podem superar o investimento inicial.

**Tabela 8:** Benefício financeiro para instalação de estruturas verdes

Cenários	C	Benefício Financeiro
C1 - ED	0,80	0,00
C2 - PP	0,75	-212.551,61
C3 - TV50%	0,76	-818.225,01
C4 - TV100%	0,71	-1.636.352,75
C5 - AP	0,62	19.935,92
C6 - PP/TV50%/AP	0,56	-1.012.653,23
C7 - PP/TV100%/AP	0,48	-1.827.704,07

Fonte: Autoria Própria (2019).

Nesta linha, segundo Fonseca e Dornelles (2018), em análise acerca da valoração ambiental do uso de telhados verdes, verificou-se para uma residência de 90 m<sup>2</sup>, uma economia anual de R\$ 494,87 para 50% de sua área composta por aquela estrutura e R\$ 947,06 para a totalidade da área. Tais valores estão relacionados à redução do consumo de energia elétrica; redução do volume escoado superficial e aproveitamento das águas pluviais para fins menos nobres. Assim, para cenários sem área permeável, no referido estudo, obter-se-ia o retorno financeiro em 11 anos para utilização de 50% da área com telhado verde (cenário 3) e 10 anos com o uso de 100% da área com telhado verde (cenário 4) no referido estudo.

Dessa forma, evidencia-se que as estruturas apresentadas demonstram viabilidade a longo prazo.

## 5. CONCLUSÕES

O presente trabalho objetivou analisar, em distintos cenários de uso e ocupação do solo, os benefícios oriundos da implantação de técnicas compensatórias em um condomínio situado no município de Rio Paranaíba-MG.

Visto os problemas recorrentes da urbanização desenfreada, da intensa impermeabilização do solo e da perpetuação de projetos sob a concepção higienista, as técnicas compensatórias constituem-se como alternativas complementares ao sistema convencional.

Analisando os resultados obtidos nos diferentes cenários e com as opções de estruturas verdes avaliadas para a área de estudo, nota-se que apesar do alto investimento inicial, tais estruturas proporcionam redução das vazões de pico e aumento do tempo de concentração. A baixa viabilidade inicial verificada pode ser contraposta quando se avaliam outros benefícios a longo prazo decorrentes da valoração ambiental destas estruturas, tais como redução do consumo de energia elétrica, aproveitamento das águas pluviais; conforto térmico das edificações; recarga do lençol freático e ganhos paisagísticos.

Dessa forma, pode-se concluir que, apesar do alto investimento inicial; os benefícios hidrológicos juntamente a outros benefícios ambientais de longo prazo justificam a utilização de tais estruturas de modo complementar ao sistema convencional de drenagem; propiciando sobretudo a melhoria da qualidade de vida no meio urbano.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2005.

- ALAMY FILHO, J. E.; BARCELOS, I. B. C.; DE MELO, N. A.; CAIXETA, A. C. M. **Eficiência hidrológica de telhados verdes para a escala de loteamentos residenciais/Hydrological efficiency of green roofs for residential neighborhoods scale**. Revista Sociedade & Natureza. ISSN, v. 1982, p. 4513, 2016.
- ALESSI, F.; KOKOT, P. J.; GOMES, J. **Comparação do escoamento superficial gerado por pavimentos permeáveis em blocos de concreto e asfalto poroso**. Da Vinci. Curitiba, v. 3, n. 1, p. 139-156, 2006.
- ANNECCHINI, K. P. V. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)**. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Vitória, 2005.
- ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial**. Braz. J. Water Resour, v. 5, n. 3, p. 21-29, 2000.
- ARBOIT, N. K. S. **Evapotranspiração de Sedum rupestre em telhados verdes extensivos**. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil 2017.
- BAPTISTA, M; NASCIMENTO, N; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. ABRH, Porto Alegre, 2005.
- BECKER, N.; PINHEIRO, I. G. **Potencialidade dos pavimentos permeáveis na melhoria da qualidade da água do escoamento superficial: uma revisão**. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 11, 2019.
- BELO HORIZONTE. Lei 7166 de 27 de agosto de 1996. Estabelece normas e condições para parcelamento e uso do solo urbano no município. Belo Horizonte.
- BENGTSOON, L.; GRAHN, L.; OLSSON, J. **Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden**. Hydrology Research, v. 36, n. 3, p. 259-26, 2005.
- CAMARGO, L. A.; ZAQUE, R. A. M.; MATOS, F. L. D.; MENEZES FILHO, F. C. M. **Diagnóstico da rede de drenagem urbana em uma área pertencente à bacia do córrego do barbado, Cuiabá-MT, utilizando o aplicativo computacional DIMGAP 1.0**. ECV - UFV - CRP, [S. l.], p. 1-10, 8 mar. 2018.
- DOS SANTOS, D. R. **Análise dos sistemas de drenagem de águas pluviais do município de Rio Paranaíba – MG**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa 2014.
- FONSECA, A. S. O.; MARQUES, C. D. **Valoração ambiental do uso de infraestruturas verdes em unidade residencial**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa, 2018.
- GPRH. GRUPO DE PESQUISA EM RECURSOS HÍDRICOS – UFV. **Pluvio 2.1**. Disponível em: <http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>. Acesso em: outubro de 2019.
- MENEZES FILHO, F. C. M. DE; AMARAL, D. B. **Histórico da expansão urbana e ocorrência de inundações na cidade de Cuiabá-MT**. Sociedade & Natureza, v. 26, n. 1, 13 maio 2014.
- MENEZES FILHO, F. C. M. **Sistematização para projetos de galerias de águas pluviais**. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, 2007.
- MENEZES FILHO, F. C. M.; RODRIGUES, A. L. M. **Avaliação do saneamento ambiental por meio da proposição e aplicação de índices de percepção e satisfação populacional**. Holos Environment, v. 17, n. 1, p. 122-137, 2017.
- MENDES, H. C; MENDIONDO, E. M. **Histórico da expansão urbana e incidência de inundações: o caso da Bacia do Gregório, São Carlos-SP**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. RBRH. vol. 12. n.1. jan/mar. 2007, 17-27.
- OLIVEIRA, L. F. G. S. **Dimensionamento e análise de desempenho hidráulico de estacionamentos com drenagem convencional e pavimento permeável, apoiado por modelagem computacional**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

OLIVEIRA, L. **A casa da nova classe média brasileira**. Disponível em: <https://delas.ig.com.br/casa/decoracao/a-casa-da-nova-classe-media-515-brasileira/n1237964417299.html>. Acesso em: 01 dez, 2019.

ONO, B. W.; BALBO, J. T.; CARGNIN, A. **Análise da capacidade de infiltração em pavimento permeável de bloco de concreto unidirecionalmente articulado**. Transportes, v. 25, n. 3, p. 90-101, 2017.

PALMEIRA, A. N. **Balço de energia em telhado verde**. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental 2016.

RANGEL, A. C. L. C.; ARANHA, K. C.; DA SILVA, M. B. C. **Os telhados verdes nas políticas ambientais como medida indutora para a sustentabilidade**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 35, 2015.

SAVI, A. C. **Telhados verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Departamento Acadêmico de Construção Civil. Curso de Especialização em Construções Sustentáveis II. 2012.

SÃO PAULO. Lei 16.402 de 31 de julho de 2014. Disciplina o parcelamento, o uso e a ocupação do solo no Município de São Paulo. São Paulo.

SCARASSATTI, M. R. N. **Telhados verdes extensivos: Influência da composição do substrato no controle qualitativo e quantitativo das águas pluviais**. Universidade Federal de Mato Grosso. Faculdade de arquitetura, engenharia e tecnologia. Programa de pós-graduação em recursos hídricos. 2019.

SILVA, F. C. M.; SIQUEIRA, J. P.; ARAGÃO, S. F. **Telhados verdes e seus benefícios à sociedade e ao meio ambiente**. Unioledo. 2017.

SILVA, L. H.; MENEZES FILHO, F. C. M. **Avaliação da eficiência hidrológica de pavimentos permeáveis e sistemas de biorretenção em loteamento residencial**. REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 15, n. 2, p. 17-34, 2019.

THOMLE, J. N. **The declining pH of waters exposed to pervious concrete**. Doctoral dissertation. Washington State University, 2010.

VIJAYARAGHAVAN, K. **Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 57, p. 740–752, 2016.

ZAQUE, R. A. M.; DE MENEZES FILHO, F. C. M. **DIMGAP 1.0: Aplicativo para o dimensionamento de galerias de águas pluviais e análise de custos envolvidos**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, 2011.

## APÊNDICE A

Dados inseridos no programa pelo usuário para composição de custos	
<b>Escavação</b>	<b>(R\$)</b>
Terra (m <sup>3</sup> )	4,65
<b>Escoramento</b>	<b>(R\$)</b>
Pontalete (m <sup>2</sup> )	15,84
<b>Outros</b>	<b>(R\$)</b>
Lastro de brita (m <sup>3</sup> )	116,46
Reaterro (m <sup>3</sup> )	7,19
Bota-fora (m <sup>3</sup> )	8,67
Instalação de PV (un.)	3049,28
<b>Tubulação</b>	<b>(R\$)</b>
400mm	59,79
500mm	79,32
600mm	99,53
800mm	140,07
1000m	212,33