

# Taxas de drenagem a partir de cenários com técnica compensatória de telhado verde com uso do modelo SWMM

Drainage taxes from scenarios with compensatory green roof technique using the storm water management model

Luiz Eduardo Pereira Coelho<sup>1</sup> , Alfredo Akira Ohnuma Júnior<sup>1</sup> ,  
Paulo Luiz da Fonseca<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mails: luizcoelhoeng@yahoo.com.br, akira@eng.uerj.br

<sup>2</sup>Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: paulo\_fonseca@id.uff.br

**Como citar:** Coelho, L. E. P., Ohnuma Júnior, A. A., & Fonseca, P. L. (2022). Taxas de drenagem a partir de cenários com técnica compensatória de telhado verde com uso do modelo SWMM. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 19, e24. <https://doi.org/10.21168/rega.v19e24>

**RESUMO:** A crescente redução da permeabilidade do solo, associado ao crescimento urbano, tem provocado um aumento na ocorrência e intensidade de eventos de inundações urbanas. Sistemas de drenagem têm buscado soluções de manejo das águas pluviais, de modo a garantir a sustentabilidade na ocupação de lotes urbanos. O objetivo deste estudo foi avaliar, com o uso de modelagem, diferentes cenários de vazões efluentes para a elaboração de incentivos fiscais nos serviços de manejo de águas pluviais. A metodologia consiste na classificação de uso e ocupação do solo da área de um loteamento residencial localizado na cidade do Rio de Janeiro, para obtenção de taxas de drenagem, devido às vazões efluentes da composição de cenário atual e cenário futuro com implantação de telhados verdes. As taxas de drenagem atual e futuro foram obtidas em função das vazões geradas nos lotes, relacionada aos custos de manutenção da rede de microdrenagem. Houve uma redução média de 26,81% nos valores referentes à cobrança da taxa de drenagem, que no cenário atual eram, em média, R\$ 283,70, anuais, e com o telhado verde passaram para valores médios de R\$ 208,32 anuais. A partir da modelagem hidrológica-hidráulica com o software SWMM, obteve-se uma redução significativa nos valores de vazões, que atualmente são em média de 6,35 litros por segundo e após a implantação do telhado verde passaram para 4,68 litros por segundo.

**Palavras-chave:** Drenagem Urbana; Gestão dos Recursos Hídricos; Políticas Públicas; Incentivos Fiscais; Telhado Verde; Manejo de Águas Pluviais.

**ABSTRACT:** An increasing reduction of soil permeability, associated with urban growth, has caused an increase in the occurrence and intensity of urban flooding events. Drainage systems have sought solutions for management of rainwater, in order to guarantee a sustainability in the occupation of urban lots. The objective of this study was to evaluate, with the use of modeling, different scenarios of effluent flows for elaboration of financial incentives in the services of rainwater management. The methodology consists on the classification of land use and occupation of the residential area subdivision located in the city of Rio de Janeiro, to obtain drainage rates, due to the effluent flows of the composition of the current scenario and future scenario with implementation of green roofs. Current and future drainage rates were obtained as a function of the flows generated in the lots, related to the maintenance costs of the microdrainage network. There was an average reduction of 26.81% in the amounts related to the collection of the drainage fee, which in the current scenario were, on average, R\$ 283.70, annually, and with the green roof, they passed to average values of R\$ 208.32 per year. From the hydrological-hydraulic modeling with the Storm Water Management Model, a significant reduction in the flow values was obtained, which currently average 6.35 liters per second and, after the implementation of the green roof, increased to 4.68 liters per second.

**Keywords:** Urban Drainage; Water Resources Management; Public Policy; Tax Breaks; Green Roofs; Rainwater Management.

Recebido: Maio 24, 2022. Revisado: Novembro 09, 2022. Aceito: Novembro 17, 2022.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution*, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado

## INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado de áreas urbanas tem como resultado uma expansão de áreas impermeáveis, de modo a alterar as características de volumes efetivos e a qualidade das águas pluviais. O aumento das taxas de impermeabilização em áreas densamente urbanizadas é decorrente, sobretudo, da ocupação descontrolada que contribui diretamente na redução de volumes infiltrados e no acréscimo de volumes de escoamento superficial. Com o aumento da frequência de eventos hidrológicos extremos, relacionados às mudanças do clima, o uso e a cobertura do solo tornam-se ainda mais fragilizadas devido às recorrências de inundações nos grandes centros urbanos (adaptado Aich et al., 2015; Amogu et al., 2015).

Desse modo, as inundações em áreas urbanas têm se tornado mais frequentes, em razão do aumento das taxas de impermeabilização e às alterações climáticas. Em 2018, o número total de pessoas atingidas por inundações representou 57% do total de pessoas atingidas por algum tipo de desastre, a nível mundial (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2019) e que, sem nenhuma intervenção, os danos financeiros chegariam a um trilhão de dólares até o ano de 2050 (Ogie et al., 2018).

Os desastres apresentaram um número aproximado de 150 mil mortes em um período de 10 anos, entre 1995 e 2015, sendo neste mesmo período, a inundação, apontada como a catástrofe que mais afeta a população, com um total de 2,3 bilhões de pessoas afetadas e mais de 20 bilhões de dólares gastos com intercorrências relativas às inundações (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2016). Em estudo realizado por Karamouz & Zahmatkesh (2017), o conceito de resiliência aplicado aos desastres é apresentado, e os autores utilizam diversos critérios para decisões que determinam resiliência às inundações em cidades costeiras, como por exemplo, quando da adoção de manejos sustentáveis das águas pluviais.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2021), no ano de 2020, dos 4.107 municípios participantes, cerca de: 1.859, ou 45,3%, informaram ter um sistema exclusivo de drenagem das águas pluviais, 491 municípios informaram ter um sistema misto, e 876 relataram ter um sistema combinado de manejo de águas pluviais e esgoto (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2021).

As condições de uso e ocupação do solo em áreas urbanas são afetadas diretamente quando há deficiências no serviço de manejo das águas pluviais urbanas. Cerca de 62,6% das cidades brasileiras, segundo o último censo de 2010, não possuem um sistema adequado de drenagem urbana. As medidas de manutenção e operação dos sistemas de drenagem nos municípios brasileiros são: varrição e limpeza das ruas (92,6% dos municípios), e atividades de limpeza da galeria (52,2% dos municípios) (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010).

O Brasil não possui uma metodologia própria de cobrança do manejo de águas pluviais urbanas, sobretudo pela ausência ou limitação de políticas públicas, quanto aos critérios de despesas relacionadas aos serviços de implantação e manutenção de sistemas de drenagem. Apesar disto, o país utiliza impostos municipais, estaduais e, eventualmente investimentos federais para a manutenção e operação do sistema de águas pluviais (Cançado et al., 2006). Apesar da inexistência de um orçamento específico aplicado aos sistemas de drenagem urbana, um total de 40 cidades informaram realizar a cobrança direta ou indiretamente pelos serviços de drenagem urbana (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2019). Os dados informados pelos municípios brasileiros demonstram que o conhecimento pré-existente da cobrança pelo uso dos serviços de manejo das águas pluviais urbanas é quase nulo no país, onde aproximadamente 1% dos municípios informam realizar tal cobrança. Porém, apesar da cobrança ser praticamente inexistente no país, ela está prevista legalmente na Lei do Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007), em seus artigos 29, inciso III (Modificado pela Lei nº 14.026, de 2020) e artigo 36, incisos I e II (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2019). Utilizada como instrumento de gestão, a cobrança pelo uso da água tem por objetivo dar suporte ao sistema de gestão de recursos hídricos e as ações definidas pelos comitês de bacias, a partir do aporte financeiro, com ações e obras pertinentes aos gestores dos recursos hídricos locais, e o planejamento urbano. A cobrança pelo uso da água deve demonstrar aos usuários, que os recursos hídricos são considerados bens comuns e finitos, e como seu uso deve ser racional no atendimento aos princípios da sustentabilidade (Baptista & Nascimento, 2002).

A implementação da cobrança pelos serviços de drenagem deve ser justa, equitativa, e baseada nos custos operacionais, de manutenção, melhoria ou de implantação. O cenário em que são implantadas as taxas de drenagem, ou impostos, requer um esforço conjunto entre as partes técnicas, políticas e jurídico, e sendo assim esta forma de arrecadação de recursos, vem crescendo de forma acentuada. A implantação precisa de um esforço conjunto entre partes, técnicas, política e jurídico, e

por esta razão, a implantação tem aumentado de forma acentuada, e assim se tornou uma importante forma de se obter recursos (Tasca et al., 2017). O manejo das águas pluviais nas áreas urbanas apresenta características de bens públicos, como a não-excludência e a não-rivalidade, e isto mostra que, em outras palavras, quando este serviço é oferecido, não é possível excluir um usuário, ou seja, todos irão obrigatoriamente usufruir deste serviço. Logo, uma vez o serviço de drenagem urbana seja obrigatoriamente utilizado, do ponto de vista jurídico, o adequado seria a cobrança por uma taxa sobre os usuários, visando a manutenção efetiva do sistema (Cançado et al., 2006).

A precificação dos serviços de drenagem urbana adota metodologias específicas, de acordo com conceitos técnicos, relacionados ao uso e ocupação do solo e critérios econômicos e financeiros, aplicados aos custos de manutenção e operação dos serviços de drenagem, de modo que buscam o financiamento parcial ou total dos serviços a qual estão ligados (Tabela 1) (Duncan, 2001).

**Tabela 1** - Metodologias de cobranças pelo serviço de manejo de águas pluviais (Duncan, 2001).

Metodologia	Definição	Vantagens	Desvantagens
Intensidade do desenvolvimento (ID)	Taxa baseada na relação da área impermeável e da área do lote	Cobrança justa, uma vez que contabiliza a área impermeável	As categorias de desenvolvimento são abrangentes
Alternativa de transporte distribuído (ATD)	Relativo ao gerenciamento em estradas municipais	Acrescenta as estradas na contabilização dos custos	Metodologia complexa
Unidade residencial equivalente (URE)	Relação da área impermeável média dos lotes da região	São taxas normalmente consideradas justas	O impacto gerado por áreas permeáveis é desconsiderado
Área hidráulica equivalente (AHE)	É uma combinação entre área permeável e área impermeável	Método que contabiliza a parcela permeável e a parcela impermeável	Método complexo para entendimento dos usuários
Alternativa hidrológica (AH)	A cobrança se baseia nas características de cada propriedade	É considerada justa devido ao estudo de maneira isolada de cada lote	Metodologia complexa e detalhada que requer muitas informações
Taxa Fixa (TF)	Taxa considerada fixa de acordo com os custos do sistema de drenagem	Cálculo simples e implantação facilitada	Não individualiza o impacto gerado por cada contribuinte

A cobrança pelos serviços públicos encontra lacunas na legislação, uma vez que a cobrança por meio de taxa, deve atender aos requisitos da disponibilidade, especificidade e divisibilidade, conforme previsto nos artigos 77 e 79 do código tributário nacional (Lengler & Mendes, 2013). Ainda, a cobrança por uma taxa, não pode ter metodologia e base de cálculo idêntica à de qualquer imposto (Súmula nº 597 do STF; parágrafo 2º do art. 145 da CF).

Experiências internacionais de cobrança de taxas de drenagem têm resultado melhorias com o financiamento pela prestação dos serviços de manejo de águas pluviais urbanas. Um estudo realizado por Campbell & Bradshaw (2021), nos Estados Unidos, analisou dados de 1.851 economias e encontrou uma taxa média unifamiliar mensal de 5.94 USD (R\$ 32,03)<sup>1</sup>, podendo chegar até 45 USD (R\$242,59) mensais, que variam de acordo com as metodologias utilizadas, com a metodologia mais utilizada sendo a metodologia Unidade Residencial Equivalente.

A Austrália é considerada um exemplo na gestão da drenagem urbana e de águas pluviais, com aplicação de taxas recomendadas pelos fundos de pesquisas em águas pluviais (Australia, 2015). A cidade de Melbourne modificou as taxas aplicadas no ano de 2020, a partir de uma remodelação no sistema de pagamento, com valores anuais de cobrança entre 24.62 AUD (R\$86,10)<sup>2</sup> e 5.107,59 AUD (R\$17.861,75). Estes valores são corrigidos, de acordo com incentivos aplicados a quem possuir sistemas de retenção de águas pluviais em sua propriedade (Sydney Water, 2021).

No âmbito nacional o financiamento das águas pluviais urbanas tem sido estudado de forma específica, como por exemplo, no trabalho de: (i) Tucci (2002) que propõe a cobrança de uma taxa baseada em sua área impermeável em Porto Alegre, (ii) Cançado et al. (2006) que propôs uma cobrança para a cidade de Belo Horizonte, sem considerar os custos de implantação, porém utilizou os

<sup>1</sup> Cotação do dólar americano em 29 de setembro de 2019 – 1 Dólar americano/USD = 5,391 Real/BRL – Segundo Banco Central do Brasil  
<sup>2</sup> Cotação do dólar australiano em 29 de setembro de 2019 – 1 Dólar australiano/AUD = 3,497 Real/BRL – Segundo Banco Central do Brasil

dados de manutenção e operação, e (iii) Gomes et al. (2008) que avaliou a cobrança dos serviços de drenagem, partir de um caso hipotético na cidade de Juiz de Fora – MG.

A cidade do Rio de Janeiro, assim como diversos outros municípios no território nacional, não possui políticas públicas e instrumentos de cobrança diretamente relacionados ao manejo de águas pluviais urbanas, e utiliza desta forma financiamento através de impostos municipais e taxa de limpeza urbana. Entretanto, um movimento em direção a cobrança e conscientização da necessidade desta cobrança, pode ser vislumbrado através do Decreto Rio N<sup>o</sup> 48.009, de 15 de outubro de 2020 (Brasil, 2020).

Um estudo realizado por Tasca (2016), a partir de uma adaptação do método Unidade Residencial Equivalente (URE), simulou uma taxa de drenagem urbana para municípios de pequeno porte, e encontrou uma variação média mensal entre R\$ 3,56 e R\$ 18,68. O estudo avaliou que, para uma área de até 288,10 m<sup>2</sup>, as taxas são consideradas suficientes na cobertura dos custos de manutenção e operação do sistema de drenagem, sem levar em consideração os custos de implantação da rede. As taxas cobradas pelo serviço de drenagem urbana, diferentemente dos serviços de coleta de esgoto sanitário e de distribuição e abastecimento de água, podem ser reduzidas a partir da implantação de medidas sustentáveis ou de técnicas compensatórias em drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, como: jardins de chuva, pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração, sistemas de aproveitamento de água da chuva e telhado verde. Na implantação dessas medidas, são reduzidas às vazões efluentes dos lotes, na medida em que armazena parte do volume precipitado, reduzindo assim a possibilidade dos valores cobrados pelas taxas (Tasca et al., 2017).

As técnicas compensatórias em manejo de águas pluviais em áreas urbanas, como pavimentos permeáveis, telhados verdes, trincheiras de infiltração, jardins de chuva e reservatórios de retenção pluviais, têm sido estudadas como medidas de redução do volume escoado, de maneira a controlar as vazões de lotes para a rede de microdrenagem e amenizar o impacto da urbanização (Fletcher et al., 2014; Rossman, 2015).

Telhados verdes têm sido aplicados em estruturas com múltiplas funções, a partir da implantação de vegetação e camada de substrato na cobertura da edificação. A composição do telhado verde deve atender parâmetros específicos, como: condições climáticas do local, declividade do telhado, tipo de vegetação, espessura e tipo de substrato e finalidade da aplicação, quanto ao atendimento do: controle de escoamento, conforto térmico, conforto acústico, estética etc. (Ohnuma Junior et al., 2017).

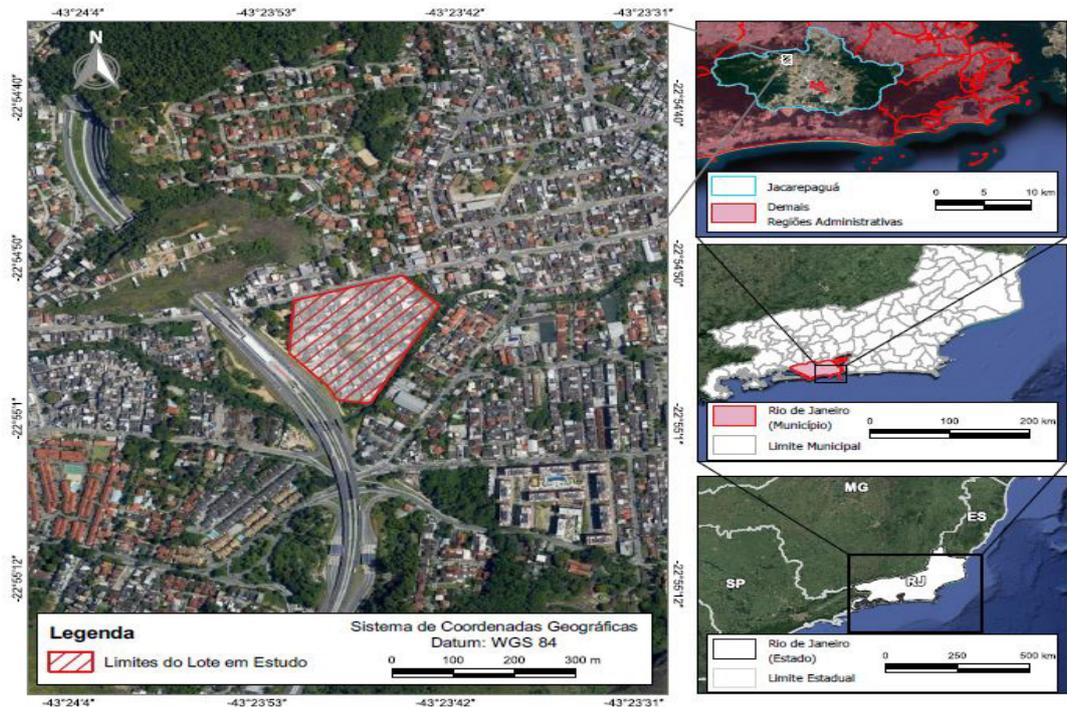
Diversas publicações no Brasil discutem uma a variação do coeficiente de escoamento superficial relacionados ao uso e ocupação do solo. Um estudo realizado por Santos et al. (2013) demonstrou a redução no escoamento superficial de acordo com diversas intensidades de chuva em Pernambuco, e encontrou valores que variam de 15% a 30% de redução da quantidade de água escoada. Além disto um estudo realizado por Oliveira (2009) contou com chuvas induzidas por aparelhos na ordem de 42 mm/h, durante 13 minutos, e demonstrou que a retenção geral foi da ordem de 56%, e que o tempo de pico foi reduzido em até 8 minutos. Entretanto, este estudo demonstrou, como fator limitante, o fato de que o equipamento simulava apenas uma intensidade pluviométrica de 42 mm/h, o que foi considerada, pelo autor, baixa para o local de implantação do estudo.

Os cenários disponíveis dentro dos centros urbanos apresentam, atualmente, a preocupação com os eventos extremos, que causam impactos cada vez mais significativos no sentido de inundações, como o aumento de alagamentos. Da mesma forma, a cobrança pelo serviço de captação e manejo das águas urbanas busca um financiamento do serviço, que atualmente não possui a arrecadação necessária e, desta forma, usufrui de orçamentos diversos dentro dos estados e municípios. Adicionalmente, a adoção de medidas compensatórias fornece redução no escoamento superficial e, desta forma, alguns incentivos podem e devem ser implantados para que os usuários possam decidir pela inserção do telhado verde, ou de qualquer outra medida compensatória no lote. Diante disso, este estudo tem como objetivo avaliar cenários de vazões efluentes de um loteamento residencial, na cidade do Rio de Janeiro-RJ, para a elaboração de incentivos fiscais nos serviços de manejo das águas pluviais urbanas, a partir de análise de uso e ocupação do solo atual e futuro com a implantação de telhados verdes nas edificações dos lotes.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A área de estudo selecionada encontra-se no bairro de Jacarepaguá, na cidade do Rio de Janeiro-RJ (Figura 1) como um loteamento regular, nas coordenadas geográficas de latitude 22° 54' 55.99" S, e longitude 43° 23' 48.51" O. A área possui infraestrutura de drenagem urbana consolidada e cadastro da rede de drenagem disponível na Fundação Instituto das Águas do Município do Rio de Janeiro

(Fundação Rio-Águas, 2019), sendo o órgão técnico de referência manejo das águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro.



**Figura 1** - Localização do loteamento residencial no bairro de Jacarepaguá, na cidade do Rio de Janeiro

Os cenários de uso e ocupação do solo do loteamento residencial foram obtidos do geoprocessamento de imagens de satélite da área de estudo. Este estudo optou pela metodologia de classificação supervisionada de imagens, com a seleção de *pixels* utilizados como modelos (Tabela 2), caracterizados no mapa, com tratamentos estatísticos pelo *software* QGIS, para a seleção de probabilidade de ocorrência na imagem de estudo.

**Tabela 2** - Seleção de pixels utilizados como modelo

Descrição	Área	Classe	Polígonos	Porcentagem	Amostragem
Área Construída	17.623,37	Impermeável	724	69,0	
Vias e calçadas	3.738,99	Impermeável	154	14,6	
Solo Exposto	312,82	Permeável	13	1,2	
Vegetação Herbácea / Gramínea	644,47	Permeável	26	2,5	
Vegetação Arbórea	3.224,43	Permeável	133	12,6	

A técnica utilizada selecionou pontos aleatórios na imagem para identificação de semelhança entre os *pixels* selecionados. Foram identificados cerca de 540 pontos aleatórios para avaliação e verificação da acurácia da classificação e, com isto, a margem de erro médio obtido foi de 1,2%, relacionado ao sombreamento e áreas anômalas de características irregulares e de difícil identificação na imagem utilizada.

O loteamento residencial possui cadastro técnico existente na Fundação Rio-Águas, com localização situada à Estrada da Boiuna, e lotes registrados no Projeto de Parcelamento e Loteamento (PAL) de número 25.285. O cadastro existente em formato de imagem teve conversão para o software AutoCad®, de modo a obter os parâmetros de cálculo das vazões efluentes dos lotes residenciais (Figura 2).

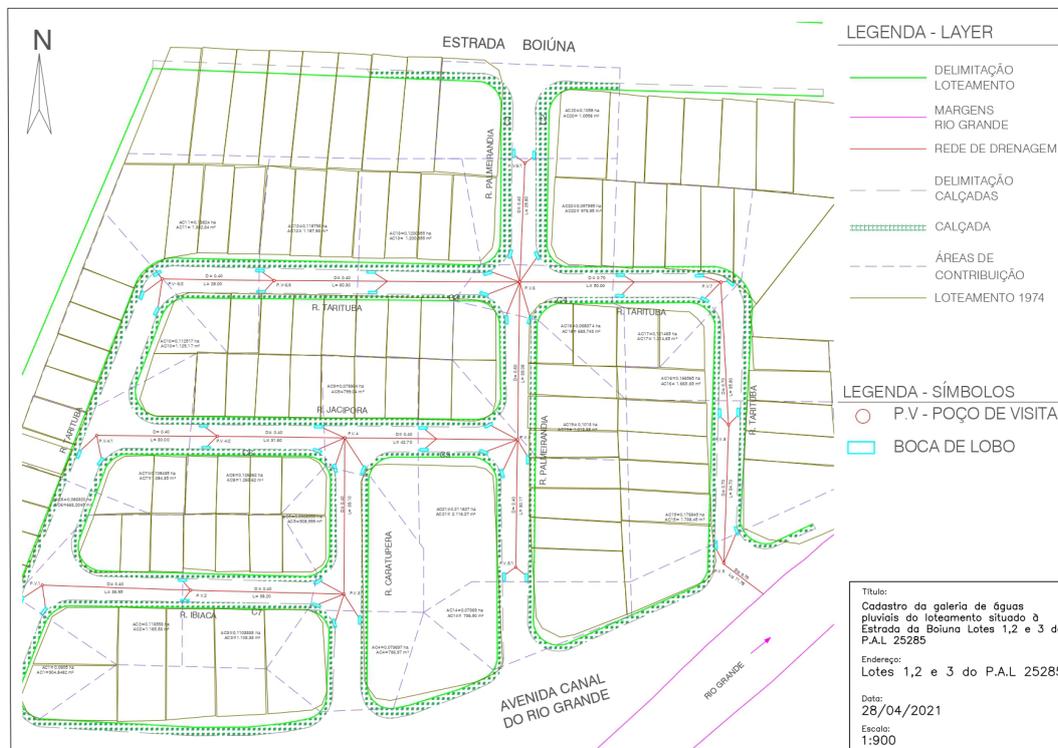


Figura 2 - Cadastro técnico da rede de drenagem urbana do loteamento residencial em Jacarepaguá, Rio de Janeiro

O PAL de número 25285 foi substituído pelo de número 30065, segundo a Secretaria Municipal de Planejamento Urbano (SMPU), da cidade do Rio de Janeiro. Após a coleta de dados do cadastro de número 30065, foram identificados 107 lotes diferentes do cadastro anterior. No entanto, apenas 87 desses lotes foram considerados como ocupados por residências de modo a obter as vazões efluentes, constituindo uma área total de 17.538,27 m<sup>2</sup>. Lotes desconsiderados referem-se às contribuições em microbacias de redes drenagem que não compõem este projeto.

Após a seleção de lotes contribuintes para a drenagem deste loteamento, foi realizado o cruzamento de dados com as informações de uso e ocupação do solo, encontradas anteriormente. A combinação das camadas de uso e ocupação do solo e dos lotes existentes no PAL de número 30065 (Figura 3), bem como as características de cada lote, foram retiradas das tabelas de atributo aferidas a cada lote, como medidas de cálculo de cada área e nível de impermeabilização do solo.

Da classificação de uso e ocupação do solo, foram obtidas as classes: área construída (69%), solo exposto (1,2%), vegetação arbórea (12,6%), vegetação herbácea, (2,5%) vias e calçadas (14,6%). O lote denominado “Recreação”, como área comum do loteamento, contribui para a rede de drenagem da área de estudo e, portanto, apresentaria taxa a ser cobrada correspondente à impermeabilização deste lote. No entanto, a cobrança em lotes vagos é realizada de maneira proporcional às áreas dos lotes de todo o loteamento residencial e reforçada no cenário internacional, e com isso existem bases para a cobrança desta forma., tendo em vista que o lote em questão é um contribuinte do sistema. A cobrança do lote em questão foi realizada através da mesma metodologia, e o valor encontrado para a taxa foi dividido entre os lotes restantes, para que uma divisão justa e responsável possa ser realizada. Esta classificação de uso e ocupação do solo permitiu a composição do cenário atual e do convencional. O cenário futuro foi idealizado a partir da implantação de telhados verdes nos lotes residenciais, com a mudança das características de impermeabilização do telhado das edificações.



**Figura 3** - Uso e ocupação do solo por lotes residenciais obtido de cadastro técnico e geoprocessamento de imagens

Na composição dos cenários atual e futuro com telhado verde, implantado nas edificações dos lotes residenciais, foram obtidas as vazões efluentes de cada lote, a partir de simulação através do modelo hidrológico-hidráulico *Stormwater Management Model* (SWMM). Este modelo de simulação computacional é de domínio público e tem seu código de programação aberto, e apresenta-se neste trabalho na versão 5.2.1. O SWMM inclui um modelo chuva-vazão, que é capaz de simular parâmetros do escoamento superficial em um único evento ou em um evento contínuo, em bacias, especialmente urbanas. Os dados de entrada utilizados neste modelo constituem pluviométricas, taxas de evapotranspiração e vazões observadas. Dentre os módulos computacionais, foram utilizados neste trabalho o módulo “Chuva-vazão” (*runoff*), responsável pela geração do escoamento superficial e subsuperficial com base na definição de um hidrograma, condições antecedentes de umidade do solo, uso do solo e topografia e o módulo Armazenamento, que caracteriza os efeitos dos dispositivos de controle da vazão e qualidade da água.

A partir dos dados coletados, é possível determinar as vazões para os diferentes cenários em todos os lotes. Logo, para os diferentes cenários utilizou-se a equação IDF (Intensidade, duração e frequência), como pode ser visto na Equação 1. É importante ressaltar que os parâmetros variam de acordo com a região em que a equação está inserida, e neste caso os parâmetros foram definidos de acordo com Fundação Rio-Águas (2019). O posto pluviométrico “Eletrobrás-Taquara” foi definido para o estudo, sendo o período de retorno de 10 anos e o tempo de duração da chuva, adotado igual ao tempo de concentração no deságue, de 15 minutos.

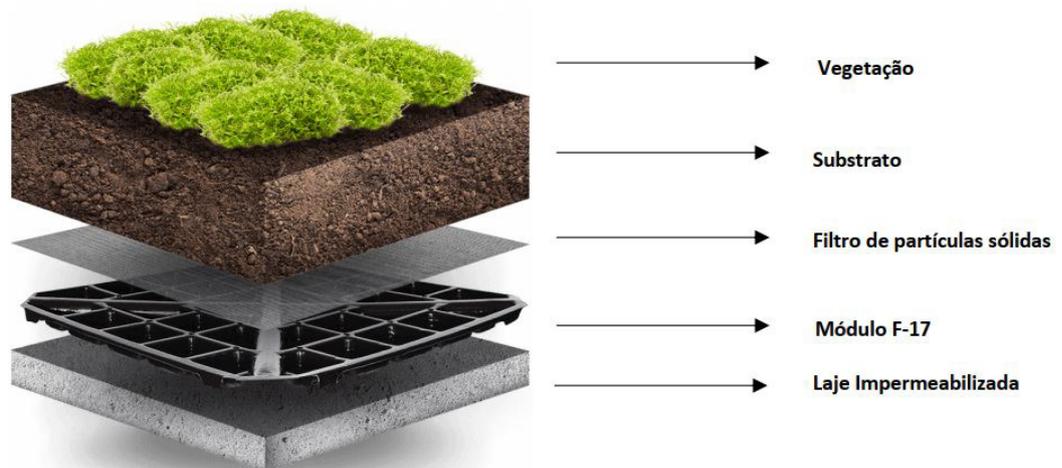
$$I = \frac{a \times TR^b}{(t+c)^d} = I = \frac{1.660 \times 10^{0,14}}{(t+6,96)^{0,769}} \text{ (mm / h)} \quad (1)$$

Onde: I é a intensidade pluviométrica em milímetros por hora; Tr é o tempo de recorrência em anos; t é o tempo de duração da precipitação em minutos; a,b,c,d são os valores dos coeficientes da região adotada segundo Fundação Rio-Águas (2019).

Segundo Nunes et al. (2017), a calibração e validação dos parâmetros do SWMM envolvem a identificação de valores observados que se aproximem dos valores estimados pelo modelo. Neste estudo, o ajuste de parâmetros, como o tempo de recorrência, tempo de permanência dentre outros, foi realizado conforme identificação de parâmetros utilizados nos estudos hidrológicos de Fundação Rio-Águas (2019), por se tratar de uma simulação com apenas dados estimados.

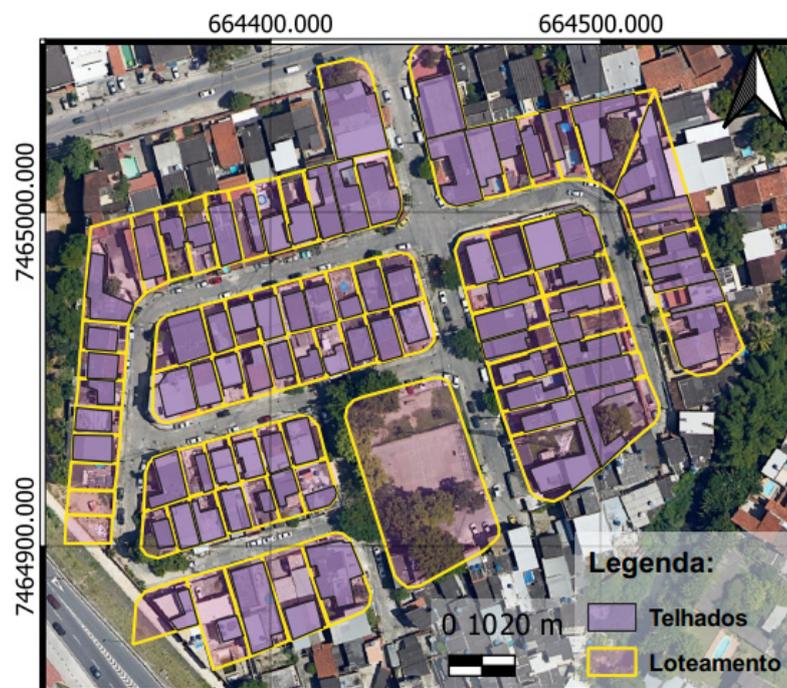
A implantação do telhado verde como técnica compensatória de drenagem urbana teve a composição do cenário futuro, a partir de telhados modulares do tipo “flat” fornecidos pela empresa Instituto Cidade Jardim (Nascimento, 2015). O sistema modular possui um modelo clássico de camadas que simula as condições de um jardim (Figura 4), e com uma variada gama de espécies

(Instituto Cidade Jardim, 2022). A composição dos módulos de telhado verde deve prever a instalação ou adequação de uma estrutura capaz de suportar 100 kg/m<sup>2</sup>.



**Figura 4** - Composição vertical do módulo de telhado verde adotado neste trabalho (Instituto Cidade Jardim, 2022)

O módulo de telhado verde adotado neste trabalho, denominado F-17L, considera o estudo realizado por Nascimento (2015), que apresenta características sazonais de retenção do volume precipitado. Para fins de simulação da medida compensatória do telhado verde foi realizada em todas as coberturas de telhados da microbacia estudada, viabilizando a redução do pico de vazão na rede estudada, conforme áreas apontadas na Figura 5.



**Figura 5** - Área de telhado para inserção da medida compensatória de telhado verde.

A definição dos parâmetros e dados utilizados nas simulações com telhado verde, no modelo hidrológico-hidráulico, utilizou como referência trabalhos de Nunes et al. (2017), Garrido Neto (2016), além de Instituto Cidade Jardim (2022) e do manual do SWMM (Rossman, 2015). A Tabela 3 apresenta os dados de entrada nas sub-bacias e parâmetros do telhado verde.

**Tabela 3** - Parâmetros utilizados na simulação do cenário com o telhado verde.

Parâmetro utilizado	Valor
Profundidade de armazenamento da superfície (mm)	50,00
Fração do volume utilizado na vegetação	0,1
Coefficiente de rugosidade de Manning (adimensional)	0,24
Declividade do telhado (%)	6
Espessura do solo (mm)	100
Porosidade do solo	0,45
Porosidade do solo (fração)	0,2
Capacidade de campo do solo (fração)	0,085
Condutividade hidráulica do solo (mm/h)	11
Gradiente de condutividade do solo	10
Sucção capilar do solo (mm)	110
Espessura da camada drenante (mm)	10
Fração de vazios da camada drenante (fração)	0,6
Coefficiente de rugosidade da camada drenante	0,4

### Avaliação de custos de manutenção e operação do sistema de drenagem do loteamento residencial

Os custos de manutenção e operação do sistema de drenagem do loteamento residencial foram obtidos para aplicação da metodologia de cálculo das taxas de cobrança nos cenários atual e futuro. Os valores de implantação do projeto foram obtidos dos serviços da Prefeitura do Rio de Janeiro, a partir do Sistema de Custos de Obras (SCO-Rio) e do catálogo do Sistema de Obras (Sistema de Acompanhamento de Obras e Serviços, 2021).

O montante anual referente à operação e manutenção de um sistema de drenagem deve ser equivalente a um valor aproximado de 5% do valor total de implantação (Cruz, 2004). Após levantamento de custos de todos os serviços de implantação da rede de drenagem no loteamento residencial de Jacarepaguá, realizado por Coelho (2022), obteve-se um valor de R\$ 487.969,86, de modo a resultar no valor de R\$ 24.398,49 para a operação e a manutenção anual deste sistema de drenagem, considerado como valor total de cobrança a ser financiado pela taxa aplicada ao loteamento residencial.

Para fins de cálculo de cobrança da taxa anual de drenagem, este trabalho considera a metodologia da Unidade Residencial Equivalente (URE) como método mais difundido dentro da literatura e, apesar de contar com diversas variações, a base da metodologia é a utilização de áreas impermeáveis de um lote, como uma unidade padrão, e o valor do objetivo final como parâmetro para alcançar uma cobrança justa e fidedigna. A taxa de área impermeabilizada por lote ( $TAI_{lote}$ ) considera a somatória de áreas impermeáveis (Aimp), em relação ao número total de lotes (n) contribuintes ao sistema de drenagem do loteamento residencial (Equação 2).

$$TAI_{Lote} = \frac{\sum Aimp}{n} = \frac{15.371,27}{87} = 176,68 \text{ m}^2 / \text{lote} \quad (2)$$

O cálculo da quantidade de URE de cada lote (URE) foi obtido da relação entre a área impermeável de cada lote ( $Aimp_{lote}$ ) e da taxa de área impermeabilizada por lote ( $TAI_{lote}$ ).

$$URE = \frac{Aimp(lote)}{TAI_{Lote}} = \frac{Aimp(lote)}{176,68} (Adm) \quad (3)$$

Logo, tendo em vista que a metodologia constitui uma forma de divisão dos custos pelos lotes que contribuem para a drenagem no local, a taxa no local de forma unitária (Tx URE) pode ser demonstrada como a divisão igualitária das unidades de URE, a partir da Equação 4.

$$Tx \text{ URE} = \frac{Cust.Op.}{N^{\circ} \text{ Total de URE's}} = \frac{R\$24.398,49}{87} = 280,44 (R\$ / Unidade) \quad (4)$$

Onde: Tx URE é a Taxa anual por cada unidade de ERU; Cust. Op. são os Custos operacionais e de manutenção e N° Total de URE's o Número total de lotes que contribuem para a drenagem no local.

Desta forma, após conhecimento de uma taxa unitária por unidade de URE, basta quantificar, para cada lote, a sua taxa anual, através do produto da taxa unitária da URE pela quantidade de URE's que o lote possui. A metodologia pode ser descrita conforme a Equação 5.

$$\text{Taxa Anual Lote} = Tx \text{ URE} \times \text{URE} \quad (5)$$

Onde: URE é a Quantidade de ERU's que o lote possui; Tx URE a Taxa anual por cada unidade de URE e Taxa anual lote a Taxa anual a ser cobrada por cada lote.

Desta forma, este estudo considera a metodologia URE e demonstra em todos os lotes estudados, caso a caso, incluindo também o lote "Recreação", que após ter sua taxa determinada, teve seu valor rateado entre todos os lotes existentes que contribuam para o escoamento da região.

Os valores percentuais de redução para cada lote foram aplicados ao valor inicialmente encontrado para a taxa a ser cobrada, e aplicados diretamente conforme a redução na vazão encontrada através da simulação com o software.

## RESULTADOS

Nos cenários atual, com telhados convencionais, e futuro, com telhados verdes implantados nas edificações dos lotes, foram contabilizadas as vazões efluentes e assim avaliadas as taxas a serem aplicadas aos lotes. A comparação dos cenários foi realizada através da diferença de vazões calculadas na metodologia deste estudo, visando a redução direta da taxa a ser aplicada diretamente ao lote. O resumo do cálculo de vazões é demonstrado na Figura 6.

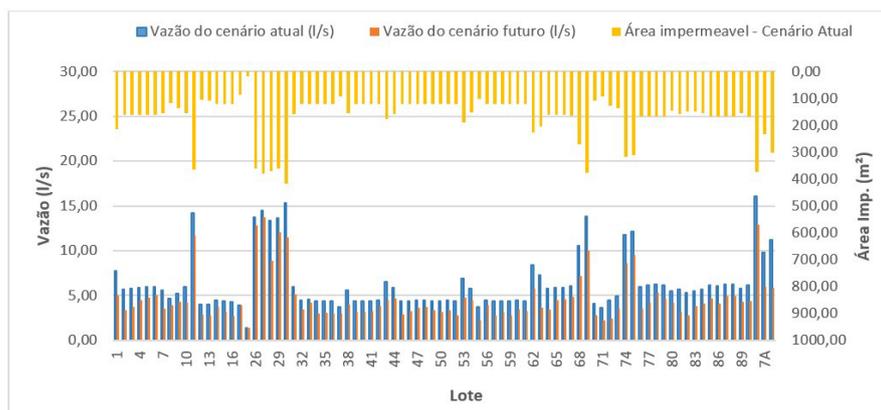


Figura 6 - Vazões efluentes dos lotes no cenário atual e cenário futuro por área impermeabilizada

Os resultados indicam uma redução dos picos de vazão com as medidas compensatórias de telhado verde simuladas, e se aproximam de resultados esperados. Os valores médios de redução nos lotes, com a aplicação da medida compensatória, foram em média de 26,81%. Entretanto, é importante ressaltar que os lotes obtiveram uma redução máxima de 49,22%, mínima de 5,18%, e que os lotes que não possuem telhado não obtiveram redução de vazão, tendo em vista que estes não implantaram a medida compensatória.

A redução da vazão pode ser apontada também na simulação do valor do escoamento total no sistema de drenagem, conforme indicado na Figura 7. O perfil de elevação demonstrado, aponta a cheia acima dos valores permitidos em dois trechos (PV4 e PV15) no cenário em que a medida compensatória não foi simulada, e com a simulação por parte da medida compensatória é possível ver que somente um trecho extrapola (PV15) o volume de água, demonstrando desta forma a redução no volume de pico escoado no tempo. A cobrança pelo uso dos serviços de drenagem urbana está diretamente ligada a vazão gerada pelo lote na rede de drenagem, ou seja, os valores cobrados irão ser reduzidos diretamente, caso o impacto gerado por este lote seja da mesma forma, reduzido.

A cobrança da taxa de drenagem está diretamente relacionada ao impacto de vazões efluentes geradas pelo lote, bem como devido ao lançamento das águas pluviais na rede de microdrenagem. Na implantação de uma medida compensatória, como telhados verdes nas edificações dos lotes, há uma redução do pico de vazão efluente, de modo que o proprietário é beneficiado com uma redução da taxa de cobrança na rede de maneira proporcional à redução da vazão gerada em seu lote. É importante

demonstrar que a redução na vazão com a simulação da medida compensatória é vislumbrada em todo o sistema, como é possível ver na Figura 8, em que a vazão de pico no exutório da rede que era de 602,08 litros por segundo sem a medida compensatória instalada, e no cenário futuro com a implantação da medida compensatória esta vazão se transforma em 548,28, apresentando assim uma redução de 9% em valores absolutos.

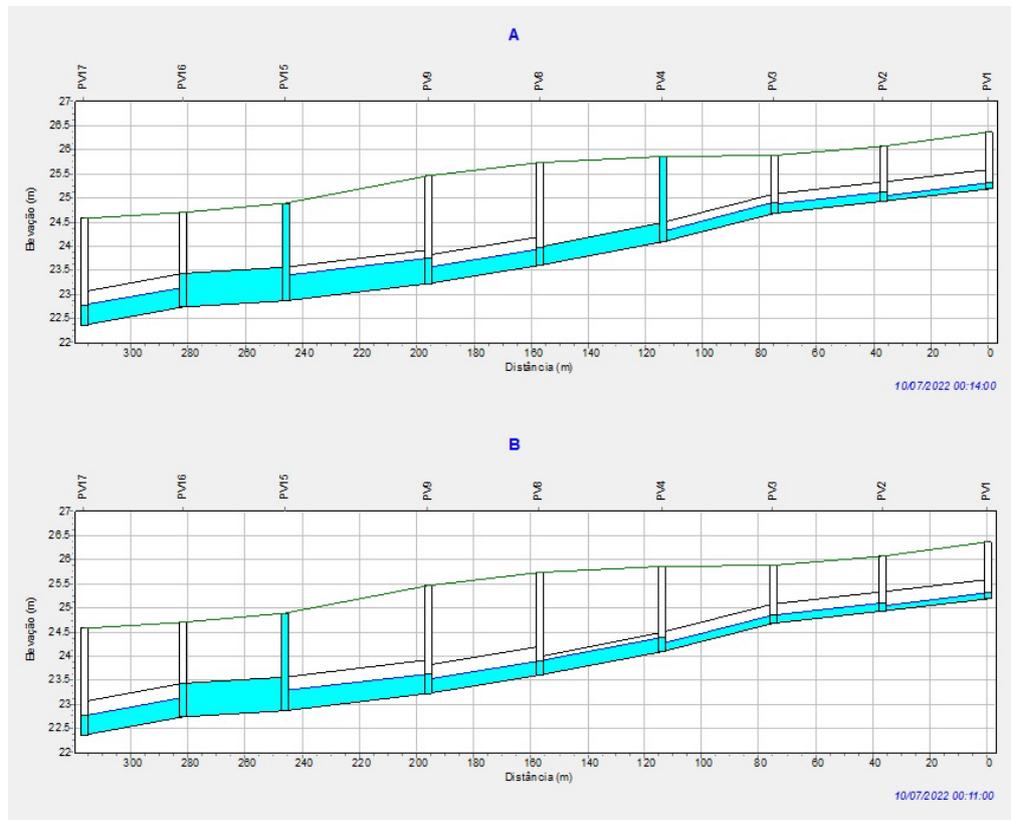


Figura 7 - a) Perfil de elevação de água no sistema sem a medida compensatória implantada; b) Perfil de elevação de água no sistema com a medida compensatória implantada.

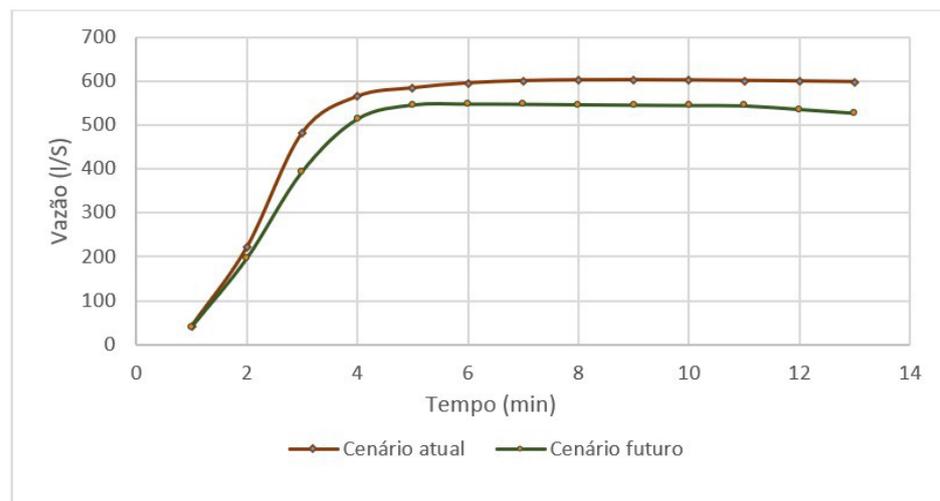


Figura 8 - Vazões ao longo do período de concentração da chuva no sistema de drenagem nos diferentes cenários

Em relação ao cenário atual com telhado convencional, nota-se uma redução da taxa de drenagem de 26,8% em média nos lotes, com valores idênticos a redução da vazão dos lotes. Os resultados obtidos a partir da aplicação desta metodologia apresentam reduções máximas de 49,22% e mínimas de 5,18%, a serem aplicadas nos valores cobrados em cada lote. Estes dados indicam que a arrecadação

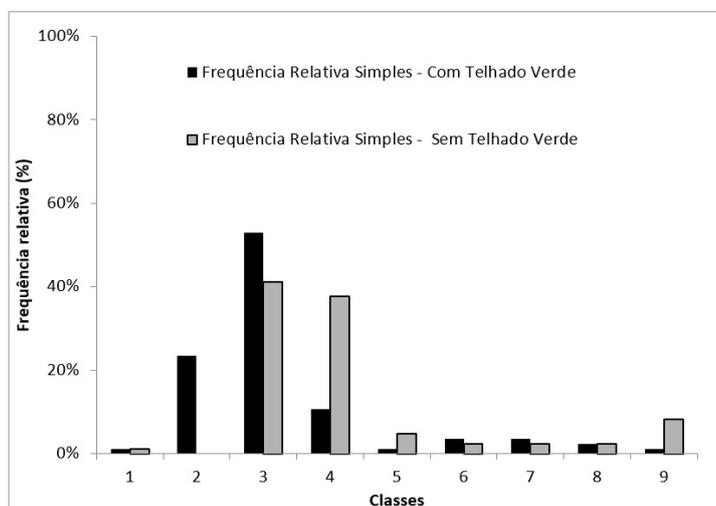
anual, que anteriormente era de R\$ 24.398,49 e cobriria os gastos com manutenção e operação da rede de drenagem, com esta redução passou para R\$ 20.527,14, demonstrando uma redução de aproximadamente 16% no valor arrecadado total.

A cobrança das taxas nos lotes em valores mensais, nos cenários atual e futuro foram compilados em classes para um entendimento estatístico dos dados de valores. Logo, nove classes foram encontradas, e seus respectivos valores podem ser vistos na Tabela 4 a seguir. O tratamento estatístico encontrou uma amplitude total de R\$45,09, e uma amplitude de classes de R\$5,86, com valores inferiores de classe de R\$0,64 e valores superiores de classe de R\$53,41.

**Tabela 4** - Limites das classes para valores mensais nos lotes.

Classes	Limite inferior de Classe (R\$)	Limite superior de Classe (R\$)
1	0,64	6,50
2	6,50	12,36
3	12,36	18,23
4	18,23	24,09
5	24,09	29,96
6	29,96	35,82
7	35,82	41,69
8	41,69	47,55
9	47,55	53,41

A Figura 9 demonstra a alocação dos valores mensais em classes, no cenário atual e no cenário futuro, e demonstra que com a implantação da medida compensatória de telhado verde pelos lotes, a redução dos valores pode ser vista com o aumento da frequência dos lotes nas menores classes. Logo, é importante ressaltar que os lotes que obtiveram os benefícios e conseqüentemente obtiveram uma redução em seu valor mensal de taxa de cobrança, aumentaram com a redução da classe visível no histograma.



**Figura 9** - Histograma de frequência de valores mensais para taxas de drenagem no cenário atual e cenário futuro.

## CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos na modelagem aplicada de vazões efluentes e taxas de drenagem aplicadas aos cenários atual e futuro com técnica compensatória de drenagem urbana implantada, pode-se concluir que:

- (i) houve redução média de cerca de 26,81% de vazões efluentes de lotes, a partir da substituição de telhado convencional por telhado verde, de modo a influenciar no escoamento superficial, e impactar financeiramente ao proprietário, reduzindo potenciais taxas de cobrança pela manutenção e operação da rede de drenagem urbana no local;

- (ii) conforme esperado, a implantação de uma medida compensatória em todos os lotes, reduziu de forma significativa a vazão nos lotes, e desta forma o incentivo a implantação destas medidas deveria ser efetivo, após demonstrar uma redução média de 26,81%, atingindo uma média de R\$17,36 em valores mensais nas taxas encontradas neste loteamento. A implantação de medidas compensatórias, a fim de reduzir possíveis taxas cobradas sobre o serviço de drenagem podem gerar economias significativas aos usuários da rede e aportar medidas sustentáveis ao loteamento.
- (iii) este projeto indica, para trabalhos futuros, o levantamento da quantidade de economias que iriam realizar o pagamento da taxa, sendo esta uma informação não encontrada neste estudo.
- (iv) as metodologias de cálculo de cobrança de taxas de drenagem necessitam de avaliação das condições de uso e ocupação do solo, quanto às taxas de impermeabilização do lote e não do total de áreas impermeabilizadas.

## REFERÊNCIAS

- Aich, V., Liersch, S., Vetter, T., Andersson, J. C. M., Müller, E. N., & Hattermann, F. F. (2015). Climate or land use? Attribution of changes in river flooding in the Sahel zone. *Water*, 7, 2796-2820. <http://dx.doi.org/10.3390/w7062796>
- Amogu, O., Esteves, M., Vandervaere, J., Malam Abdou, M., Panthou, G., Rajot, J., Souley Yéro, K., Boubkraoui, S., Lapetite, J., Dessay, N., Zin, I., Bachir, A., Bouzoumoussa, I., Faran Maïga, O., Gautier, E., Mamadou, I., & Descroix, L. (2015). Runoff evolution due to land-use change in a small Sahelian catchment. *Hydrological Sciences Journal*, 60, 78-95. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2014.885654>
- Australia. (2015). *Report commonwealth of Australia, Australian environment and communications references committee: stormwater management in Australia*. Canberra, Australia: Commonwealth of Australia. Recuperado em 15 de maio de 2022, de [https://www.aph.gov.au/Parliamentary\\_Business/Committees/Senate/Environment\\_and\\_Communications/Stormwater/Report](https://www.aph.gov.au/Parliamentary_Business/Committees/Senate/Environment_and_Communications/Stormwater/Report).
- Baptista, M. B., & Nascimento, N. O. (2002). Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana. *RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 7, 29-49. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v7n1.p29-49>
- Brasil. Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro. (2020, 15 de outubro). Decreto nº 48.009, de 15 de outubro de 2020. Regulamenta a Lei nº 6.695, de 26 de dezembro de 2019, que institui o Fundo Municipal de Saneamento Básico, e dá outras providências. *Diário Oficial do Município do Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro.
- Campbell, W., & Bradshaw, J. (2021). *Western Kentucky University Stormwater Utility Survey 2021*. SEAS Faculty Publications (Paper 4). Recuperado em 20 de abril de 2022, de [https://digitalcommons.wku.edu/seas\\_faculty\\_pubs/4](https://digitalcommons.wku.edu/seas_faculty_pubs/4).
- Cançado, V., Nascimento, N., De, O., & Cabral, J. R. (2006). Cobrança pela drenagem urbana de águas pluviais: bases conceituais e princípios microeconômicos. *RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 11-2, 15-25. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v11n2.p15-25>
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters - CRED. (2016). *The human cost of weather-related disasters 1995–2015*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. The United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Recuperado em 15 de abril de 2022, de <https://reliefweb.int/report/world/human-cost-weather-related-disasters-1995-2015>
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters - CRED. (2019). *EM-DAT: The International Disaster Database: 2018 review of disaster event*. Recuperado em 11 de março de 2022, de <https://www.emdat.be/2018-review-disaster-events>.
- Coelho, L. E. P. (2022). *Análise de cenários de vazões efluentes de drenagem urbana para elaboração de diretrizes de incentivos fiscais de sistemas de águas pluviais: Jacarepaguá – RJ* (Dissertação de mestrado). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Ciências e tecnologias, Rio de Janeiro.
- Cruz, M. A. S. (2004). *Otimização do Controle da Drenagem em Macro-bacias Urbanas* (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre.
- Duncan, R. (2001). Selecting the 'right' stormwater utility rate model – an adventure in political and contextual sensitivity. In *World Water and Environmental Resources Congress* Recuperado em 15 de abril de 2022, de [https://doi.org/10.1061/40569\(2001\)242](https://doi.org/10.1061/40569(2001)242).

- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., & Viklander, M. (2014). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more: the evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12, 525-542. <http://dx.doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>
- Fundação Rio-Águas. (2019). *Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana*. Recuperado em 15 de maio de 2022, de: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/8940582/4244719/InstrucaoTecnicaREVISA01.pdf>.
- Garrido Neto, P. S. (2016). *Telhados verdes como técnica compensatória em drenagem urbana na cidade do Rio de Janeiro: Estudo experimental e avaliação de sua adoção na bacia do rio Joana a partir do uso de modelagem matemática* (Dissertação de Mestrado). Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Gomes, C.A.B.M., Baptista, M.B., Nascimento, N.O. (2008). Financiamento da drenagem urbana: uma reflexão. *ABRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 13(3), 93-104. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v13n3.p93-104>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2010). Estatísticas: Downloads: Censos: Censo Demográfico 2010: Resultados do universo: Agregados por setores. Recuperado em 6 de julho de 2022, de <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>.
- Instituto Cidade Jardim - ICJ. (2022, 10 de fevereiro). Recuperado em 15 de maio de 2022, de <https://institutocidadejardim.com.br/>
- Karamouz, M., & Zahmatkesh, Z. (2017). Quantifying resilience and uncertainty in coastal flooding events: framework for assessing urban vulnerability. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143, 04016071. [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000724](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000724)
- Lengler, C. & Mendes, C. A. B. (2013). O financiamento da manutenção e operação do sistema de drenagem urbana de águas pluviais no Brasil. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, 15(1), 201-218. <https://doi.org/10.22296/2317-1529.2013v15n1p201>
- Nascimento, C. M. L. (2015). *Avaliação das relações chuva vazão em telhad os verdes modulares sob chuva simulada induzida* (Dissertação de mestrado). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Nunes, D. M, Silva, L. P. & Fonseca, P. L. (2017). Avaliação do papel dos telhados verdes no desenho e desenvolvimento urbano de baixo impacto ambiental e no controle de enchentes na cidade do Rio de Janeiro. *Labor e Engenho*, 11(3), 374-393. <http://dx.doi.org/10.20396/labore.v11i3.8648820>
- Ogie, R. I., Holderness, T., Dunn, S., & Turpin, E. (2018). Assessing the vulnerability of hydrological infrastructure to flood damage in coastal cities of developing nations. *Computers, Environment and Urban Systems*, 68, 97-109. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.11.004>
- Ohnuma Junior, A. A., Marques, M., & Pimentel da Silva, L. (2017). Efeitos globais da temperatura e da precipitação em telhados verdes. *Revista Brasileira de Climatologia*, 20, 234-251.
- Oliveira, E. W. N. (2009). *Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico* (Dissertação de Mestrado). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Recuperado em 15 de maio de 2022, de <http://www.peamb.eng.uerj.br/producao.php?id=205>
- Rossmann, L. A. (2015). Storm Water Management Model – User’s Manual Version 5.1. Cincinnati, OH: U. S. Environmental Protection Agency, 2015, 352p.
- Santos, P. T. S., Santos, S. M., Montenegro, S. M. G. L., Coutinho, A. P., Moura, G. S. S., & Antonio, A. C. D. (2013). Telhado Verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. *Ambiente Construído*, 13, 161-174. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212013000100011>
- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS. (2019). Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento - SNS. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): 4º diagnóstico de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas*. Brasília: SNS/MDR, 2020.
- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS. (2021). Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento - SNS. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): diagnóstico temático drenagem e manejo das águas pluviais urbanas*. Brasília: SNS/MDR, 2021.
- Sistema de Acompanhamento de Obras e Serviços - SISCOB. (2021). *Catálogo do sistema de obras: itens de serviços*. Recuperado em 15 de maio de 2022, de <http://www2.rio.rj.gov.br/sco/>
- Sydney Water. (2021). *Independent Pricing and Regulatory Tribunal – IPART*. Recuperado em 10 de abril de 2022, de <https://www.ipart.nsw.gov.au/>
- Tasca, F. A. (2016). *Simulação de uma taxa para manutenção e operação de drenagem urbana para municípios de pequeno porte* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Florianópolis. Recuperado em 15 de maio de 2022, de <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/167590>.

Tasca, F. A., Assunção, L. B., & Finotti, A. R. (2017). International experiences in stormwater fee. *Water Science and Technology*, (1), 287-299. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2018.112>

Tucci, C. E. M. (2002). Gerenciamento da Drenagem Urbana. *RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 7, 5-27. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v7n1.p5-27>

#### **Contribuição dos autores:**

Luiz Eduardo Pereira Coelho: texto principal, produção de dados, definição de metodologia, análise de resultados.

Alfredo Akira Ohnuma Júnior: revisão de dados, revisão de texto, definição de metodologia, análise de resultados.

Paulo Luiz da Fonseca: revisão de dados, revisão de texto, definição de metodologia, análise de resultados.