

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO E DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL GERADO EM TELHADOS VERDE E CONVENCIONAL

Palavras-Chave: telhados verdes, escoamento superficial, urbanização

Autores(as):

Vinicius Patriarca Miranda Miguel, SIGLA UNIDADE – SIGLA INSTITUIÇÃO

Prof. Dr. Ronalton Evandro Machado (orientador), FT/Unicamp

Prof. Dr. Felipe Benavente Canteras (coorientador), FT/Unicamp

INTRODUÇÃO:

A urbanização crescente tem gerado uma série de desafios ambientais, dentre os quais se destaca o aumento do fluxo de águas para galerias pluviais e rios devido à impermeabilização das superfícies [1]. Esse fenômeno contribui significativamente para a ocorrência de inundações, erosão do solo e poluição dos corpos d'água [2]. Com o intuito de mitigar essas consequências, diversas soluções sustentáveis têm sido investigadas e implementadas. Entre elas, os telhados verdes surgem como uma alternativa promissora [3].

Como soluções sustentáveis, os telhados verdes são uma solução viável, os quais incorporam vegetação sobre a parte superior de construções. Além de contribuir para a melhoria da qualidade do ar e proporcionar conforto térmico, esses sistemas são eficientes na retenção e retardamento do escoamento superficial [4]. Dessa forma, tais telhados podem desempenhar um papel crucial na gestão das águas pluviais em áreas urbanas, reduzindo o risco de enchentes e aliviando a pressão sobre os sistemas de drenagem convencionais, que não mais comportam a grande densidade populacional de centros urbanos [5].

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de medição de precipitação e escoamento superficial em telhados verde e convencional. Utilizando tecnologia de telemetria e sensores ultrassônicos acoplados a microcontroladores ESP8266, o sistema proposto visa monitorar e comparar o escoamento gerado por ambos os tipos de telhado. A eficiência dos telhados verdes será avaliada com base na derivada no gráfico do volume do escoamento superficial gerado em relação ao tempo, fornecendo dados importantes para a análise de sua viabilidade como solução sustentável em áreas urbanas.

METODOLOGIA:

Um modelo físico simplificado foi construído para simular o escoamento superficial em diferentes tipos de telhados. O modelo foi desenvolvido utilizando 3 módulos com dimensões de 1,74 m x 1,74 m (Figura 1), classificados como telhados 1, 2 e 3. Dois dos módulos foram preparados para receber o telhado verde, enquanto o terceiro módulo não recebeu essa preparação, servindo como controle para o experimento.



Figura 1 - Foto dos Módulos

O propósito do modelo físico é reproduzir as condições reais de escoamento superficial de forma controlada, permitindo a comparação entre telhados verdes (os denominados 2 e 3) e telhados convencionais (chamado de telhado 1). No módulo 2 foi plantada a grama bermuda e no módulo 3 a grama amendoim. Os dados coletados a partir deste modelo possibilitaram avaliar o impacto do telhado verde na retenção de água e na redução do escoamento superficial.

1. Equipamentos de Medição

Para a realização dos experimentos, utilizou-se dois tipos de equipamento, que foram desenvolvidos utilizando sensores de baixo custo e o microcontrolador ESP8266:

- **Pluviômetro:** Um pluviômetro automático foi empregado para medir a precipitação em diferentes períodos do experimento. Este equipamento é essencial para avaliar a variabilidade da precipitação e seu impacto no escoamento superficial, ou seja, estimar quanto de chuva incidiu no telhado e quanto dessa precipitação escoou ou infiltrou no solo. Esse equipamento é composto basicamente por um ESP8266 conectado a um sensor de efeito hall, que conta quantas vezes a blástula¹ oscilou. Com o volume de precipitação - inferido pelas oscilações e pelo volume da blástula, a área do pluviômetro e o tempo, conseguimos calcular a precipitação em mm/h.
- **Medidor de nível d'água:** Tal equipamento é constituído de um ESP8266 conectado a um sensor ultrassônico (HC-SR04), esse sensor está na tampa do tambor e que mensura a distância do sensor até a água ou ao fundo do tambor, caso não haja água. Esse dispositivo é essencial, já que é por meio dele que é possível calcular o volume de água escoado e, conseqüentemente, a derivada, para perceber o comportamento do solo ao longo do experimento.

2. Preparação da Base do Telhado Verde

A preparação da base do telhado verde é uma etapa crucial para garantir a funcionalidade e a durabilidade do sistema, bem como para simular de maneira realista as condições de um telhado verde em um ambiente urbano. Os materiais e os procedimentos utilizados para a montagem da base do

¹ Recipiente para o qual a água é direcionada e oscila quando atinge um determinado volume. Tal objeto é simétrico, ou seja, sempre haverá um lado enchendo para a contabilização da precipitação.

telhado verde são:² camada de Impermeabilização, manta anti-raiz, camada de drenagem, camada de filtragem, substrato de plantio e vegetação;



Figura 2 - Camadas do telhado verde

3. Simulação

Para as simulações, foram adotadas os seguintes procedimentos:

- **Situação do Solo:** Para conseguir analisar os dados de maneira mais significativa, o solo não foi irrigado por 7 dias, para que ficasse mais seco e fosse possível observar o ponto de saturação do solo e conseqüentemente ter uma análise mais contundente dos dados.
- **Clima:** Em paralelo a não regar o solo, a simulação não foi realizada após 7 dias de alguma chuva, pelos mesmos motivos citados anteriormente e também em dias que não houve previsão de chuva, para não haver uma incidência de chuva diferente da irrigação.
- **Tempo de simulação:** O intervalo de tempo escolhido para a duração da simulação da chuva foi de uma hora de precipitação, tempo suficiente para construir uma curva (hidrograma) que mostrasse os diferentes estágios do escoamento durante e após cessar a precipitação.
- **Cuidado com as diferenças:** Havia certas diferenças entre os módulos, dentre as quais se destaca a divisão interna de dois módulos. Para conseguir uma análise adequada foi feito correção nos valores dos volumes, para considerar uma área de incidência de chuva de 1 m².

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Após o tratamento dos dados foram obtidos os seguintes gráficos dos volumes de cada tambor. Ainda que as diferenças entres os telhados sejam sutis, é possível percebê-las, por exemplo, a parte central da curva azul da Figura 3 se destaca por ser uma reta. Porém, uma análise baseada apenas nas curvas dos dados não se mostra suficiente, já que se deve fazer análise da variação desse volume (Figura 4).

² Foi aplicada nos módulos 2 e 3

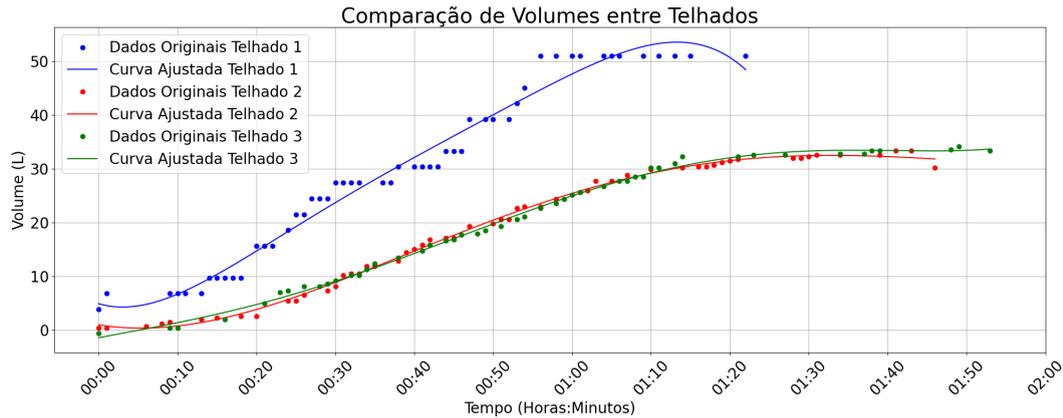


Figura 3 - Gráfico das com as curvas dos volumes de cada telhado

Como a grandeza que mais evidencia como o telhado se comporta com relação à precipitação é o volume escoado, então para conseguir uma análise mais detalhada foi aplicada a derivada do volume em relação ao tempo. Tais gráficos estão na Figura 4 e evidenciam muito mais as diferenças entres os três telhados

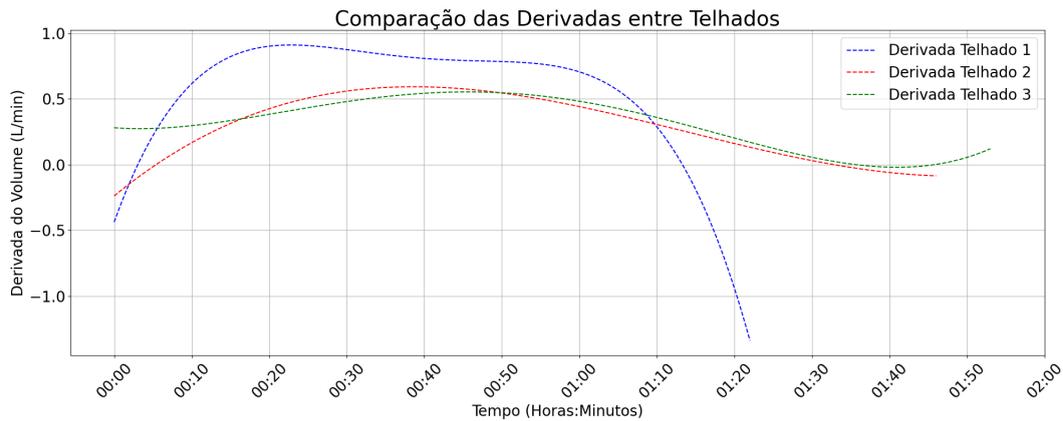


Figura 4 - Gráfico das derivadas das curva da Figura 3

De acordo com os gráficos apresentados na Figura 4, o escoamento nos telhados 2 e 3 tem um comportamento semelhante. Ambos os gráficos exibem um período de pico de intensidade reduzido em comparação ao observado no telhado 1, seguido por uma queda mais suave após o desligamento do sistema de irrigação. Esses fenômenos são explicados por dois fatores principais. Primeiramente, há um ponto em que o solo satura e atinge a sua capacidade máxima de infiltração. Em segundo lugar, o solo retém parte da água, resultando em um fluxo contínuo de água mesmo após o término da chuva. Dessa forma, mesmo com o sistema desligado, ainda há escoamento de água, mas mais distribuído ao longo do tempo, reduzindo os picos de escoamento, observados após chuvas intensas em áreas urbanizadas.

Observa-se também que o gráfico na Figura 4 o telhado 1 apresenta um comportamento aproximadamente constante, o que reforça a tese inicial de que a maior parte do volume de água incidente sobre esse telhado gera escoamento superficial. Esse comportamento é consistente com a premissa de que o escoamento é predominantemente controlado pela lâmina precipitada que atinge o telhado. Além disso, a ascensão e o declínio acentuados no gráfico corroboram com essa observação, uma vez que o volume escoado é diretamente proporcional à quantidade de precipitação que o telhado recebe.

CONCLUSÕES:

A implementação dos telhados verdes mostrou-se eficaz na modificação do comportamento do escoamento superficial após precipitações. Os resultados indicaram que os telhados verdes reduzem significativamente o volume e a intensidade do escoamento, contribuindo para a mitigação de enchentes e aliviando a pressão sobre os sistemas de drenagem urbana. A capacidade dos telhados verdes de reter e infiltrar a água das chuvas, distribuindo o escoamento ao longo do tempo, confirma seu potencial como uma solução sustentável para a gestão das águas pluviais em ambientes urbano.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a exploração de diferentes tipos de vegetação e substratos para otimizar ainda mais a eficiência dos telhados verdes. Além disso, estudos de longo prazo são necessários para avaliar o impacto das variações climáticas sazonais e a durabilidade dos sistemas de telhado verde. A integração dos telhados verdes com outras tecnologias sustentáveis, como cisternas e sistemas de reutilização de água, também representa uma área promissora para futuras investigações.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Eliane Aparecida Justino, Heber Martins Paula, e Ed Carlo Rosa Paiva. **Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-mg**. Espaço em Revista, 13(2), fev. 2012.
- [2] SILVA, Mauri Fernando; DE OLIVEIRA SANCHES, Fabio. **Erosão dos solos e urbanização nos bairros da região nordeste de Guaratinguetá: um estudo de caso utilizando imagem Ikonos**. Revista Ciências Humanas, 2010.
- [3] BEUX, Fernanda Christine; OTTONI, Adacto Benedicto. **Métodos alternativos de drenagem a partir da retenção e infiltração das águas de chuva no solo, visando a redução das enchentes urbanas**. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 3, n. 17, p. 01-13, 2015.
- [4] Jefferson da Costa, Anderson Costa, and Cristiano Poletto. **Telhado verde: Redução e retardo do escoamento superficial**. *Revista de Estudos Ambientais*, 14(2):49–55, set. 2011.
- [5] Simone Siqueira dos Reis. **Influência da densidade e da altura de edificações na transformação de precipitação-escoamento utilizando chuva simulada em modelo reduzido de bacia hidrográfica urbana com diferentes declividades**. Dissertação, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, jul 2024