www.revistaft.com.br

Revista FT | ISSN 1678-0817 | v.30, n.164, 2026 | DOI: 10.69849/vmkzgy98

Infraestrutura verde e técnicas compensatórias na mitigação de alagamentos: proposta aplicada à Avenida Marginal Neblina em Araguaína – TO

Green infrastructure and compensatory techniques in flood mitigation: a proposal applied to Avenida Marginal Neblina in Araguaína - TO

Cailany Alves Silva[1]
Gabriel Pereira Miranda[2]
Indira Queiroz Macambira Bezerra[3]

RESUMO

O crescimento urbano acelerado e a consequente impermeabilização do solo têm provocado severas alterações no ciclo hidrológico das cidades brasileiras, resultando no aumento expressivo do volume de escoamento superficial direto (*runoff*) e na ocorrência recorrente de alagamentos e inundações urbanas. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar as limitações operacionais do sistema convencional de drenagem urbana (higienista) e propor a aplicação de jardins de chuva (*rain gardens*) como técnica compensatória baseada em infraestrutura verde para a mitigação de alagamentos na Avenida Marginal Neblina, no município de Araguaína–TO. A metodologia adotada possui caráter aplicado, qualitativo, descritivo e exploratório-propositivo, fundamentada em revisão bibliográfica especializada, caracterização fisiográfica da bacia do Córrego Neblina, diagnóstico de eventos críticos locais e interpretação conceitual baseada nos princípios do Método Racional e da Equação de Manning. Os resultados indicam que a baixa declividade da avenida associada à elevada taxa de impermeabilização do entorno sobrecarrega a rede de microdrenagem subterrânea, tornando-a insuficiente durante precipitações intensas. Conclui-se que a implantação descentralizada de jardins de chuva no canteiro e vias marginais representa uma solução de biorretenção tecnicamente viável, eficaz no amortecimento de vazões de pico, na promoção da infiltração, no tratamento da poluição difusa (*first flush*) e na qualificação do espaço urbano.

[1]Universidade Tocantinense Presidente Antônio Carlos (UNITPAC) E-mail: alvescailany@gmail.com
[2]Universidade Tocantinense Presidente Antônio Carlos (UNITPAC) E-mail: gabrielmirandacad@gmail.com
[3]Universidade Tocantinense Presidente Antônio Carlos (UNITPAC) E-mail: indiraqmb@gmail.com

Palavras-chave: Drenagem urbana; Infraestrutura verde; Jardins de chuva; Biorretenção; Alagamentos.

ABSTRACT

Accelerated urban growth and soil sealing have caused severe changes in the hydrological cycle of Brazilian cities, resulting in a significant increase in surface runoff volume and the recurrent occurrence of urban flooding events. In this context, this study aims to analyze the operational limitations of conventional urban drainage systems (hygienist approach) and propose the application of rain gardens as a green infrastructure compensatory technique to mitigate flooding on Marginal Neblina Avenue, in Araguaína–TO, Brazil. The methodology adopted is applied, qualitative, descriptive, and exploratory-propositive, based on a specialized literature review, physiographic characterization of the Neblina Creek watershed, local critical event diagnostics, and conceptual interpretation grounded in the principles of the Rational Method and Manning's Equation. The results indicate that the low slope of the avenue, combined with the high impermeability rate of the surrounding area, overloads the underground microdrainage network, rendering it insufficient during intense rainfall events. It is concluded that the decentralized implementation of rain gardens along the median and marginal areas represents a technically viable bioretention solution, effective in dampening peak flows, promoting infiltration, treating diffuse pollution (first flush), and upgrading the urban space.

Keywords: Urban drainage; Green infrastructure; Rain gardens; Bioretention; Urban flooding.

INTRODUÇÃO

O crescimento urbano acelerado observado nas cidades brasileiras nas últimas décadas tem provocado profundas alterações no ciclo hidrológico natural (TUCCI, 2002, CANHOLI, 2014). A substituição contínua da cobertura vegetal nativa por superfícies impermeáveis – como pavimentos asfálticos e edificações – reduz drasticamente as taxas de infiltração da água no solo e a evapotranspiração, resultando no aumento significativo do volume e do pico de vazão de escoamento superficial (Overland flow) nas bacias hidrográficas urbanas.

Historicamente, a gestão das águas pluviais fundamentou-se no modelo higienista ou tradicional de drenagem, cujo foco reside na coleta e no afastamento rápido dos volumes precipitados para fora dos centros urbanos por meio de obras de micro e macrodrenagem cinza

(canais, galerias e tubulações) (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015). Contudo, esse paradigma tem se mostrado ineficiente e insustentável perante a expansão territorial contínua e a crescente frequência de eventos pluviométricos intensos associados às mudanças climáticas globais, provocando sobrecarga nas redes, alagamentos recorrentes e a simples transferência de impactos hidrológicos para os trechos localizados a jusante (MIGUEZ et al., 2014).

Diante dessas limitações, emerge a necessidade de reestruturação do planejamento urbano e do manejo de águas pluviais a partir do conceito de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (Low Impact Development — LID) e da Infraestrutura Verde (IV) (FLETCHER et al., 2015). Essa abordagem visa restaurar as condições hidrológicas prédesenvolvimento por meio de Técnicas Compensatórias de Drenagem Urbana (TCDU), promovendo a retenção, detenção, infiltração e purificação da água na própria fonte geradora.

Dentre as TCDU de base fitotecnológica, os jardins de chuva (rain gardens ou bioretencões) destacam-se como soluções baseadas na natureza (SbN) altamente viáveis e integráveis ao ecossistema urbano. Além de atuarem no amortecimento dos picos de cheia e na redução do volume de runoff, essas estruturas auxiliam na remoção de poluentes carreados pelo escoamento inicial (first flush) e promovem melhorias microclimáticas e paisagísticas nas vias públicas.

No município de Araguaína – TO, a Avenida Marginal Neblina consolida-se como um dos principais eixos viários e comerciais da cidade, cortando a bacia do Córrego Neblina. Devido à elevada taxa de impermeabilização do solo no seu entorno e à dependência exclusiva da rede tradicional de microdrenagem, a via apresenta pontos críticos recorrentes de alagamento durante o período chuvoso amazônico/cerrado, gerando prejuízos econômicos, transtornos à mobilidade e riscos à segurança pública.

Diante dessa problemática, o presente estudo formula a seguinte questão norteadora: De que maneira a implementação de jardins de chuva como técnica compensatória pode mitigar os impactos das inundações e alagamentos na Avenida Marginal Neblina em Araguaína – TO? A hipótese adotada é que a inserção estratégica de infraestruturas verdes no canteiro central e passeios da avenida reduzirá o pico do escoamento superficial e aliviará a carga sobre a rede convencional existente.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo geral propor e avaliar a aplicação de jardins de chuva como estratégia de infraestrutura verde para a mitigação de alagamentos na Avenida Marginal Neblina em Araguaína – TO. Para atingir esse propósito, delinearam-se os seguintes objetivos específicos: (a) caracterizar os aspectos fisiográficos, de uso e ocupação do solo e da rede de drenagem do trecho em estudo; (b) diagnosticar os pontos críticos de alagamento na via; e (c) dimensionar e propor arranjos espaciais de jardins de chuva adequados à realidade local.

O CICLO HIDROLÓGICO E O EQUILÍBRIO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS NATURAIS

O ciclo hidrológico compreende o sistema contínuo e dinâmico de circulação e redistribuição da água entre a atmosfera, a superfície terrestre e a litosfera, impulsionado fundamentalmente pela radiação solar e pela gravidade (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988; COLLISCHONN; DORNELLES, 2013). Em escala de bacia hidrográfica — considerada a unidade territorial e de planejamento físico-operacional fundamental na engenharia de recursos hídricos, o balanço hídrico pode ser quantificado simplificadamente pela Equação (1):

$$P = ET + 1 + S + R \quad (1)$$

- P é a precipitação total incidente;
- ET representa a evapotranspiração real

Em que:

- I corresponde à taxa de infiltração no solo;
- S refere-se ao armazenamento retido em depressões do terreno e vegetação (intercepção);
- R é o escoamento superficial direto (runoff).

Em bacias hidrográficas naturais não antropizadas, os componentes da Equação 1 Operam em um regime de equilíbrio dinâmico e autorregulatório (VILLELA; MATTOS, 1975). A cobertura vegetal nativa exerce um papel mecânico e hidrodinâmico essencial por meio da intercepção: as copas das árvores reduzem a energia cinética das gotas de chuva, atenuando o impacto direto sobre a superfície do solo e prevenindo a desagregação de partículas e a formação de crostas superficiais que impermeabilizam o terreno (TUCCI, 2002). A fração pluviométrica que atinge o solo infiltra-se através da macroporosidade pedológica — mantida por raízes e pela atividade biológica —, alimentando a zona não saturada e promovendo a recarga contínua dos aquíferos

subterrâneos. Essa água armazenada subterraneamente retorna de forma gradual aos canais fluviais por meio do escoamento de base (*baseflow*), garantindo a perenidade dos cursos d'água durante os períodos de estiagem prolongada (MCCUEN, 2004).

Adicionalmente, a rugosidade natural da superfície do solo e a presença de vegetação rasteira e serapilheira elevam o tempo de concentração (t_c) da bacia — definido como o intervalo temporal necessário para que uma partícula líquida originada no ponto hidraulicamente mais distante percorra o trajeto até o exutório. Como resultado desse amortecimento físico, os hidrogramas de cheia em bacias naturais apresentam perfis atenuados, caracterizados por longos tempos de subida (*time-to-peak*), vazões de pico (Q) reduzidas e uma recessão prolongada, o que confere estabilidade geomorfológica aos canais e evita inundações abruptas (CANHOLI, 2015).

URBANIZAÇÃO E ALTERAÇÕES NA DINÂMICA HIDROLÓGICA URBANA

O processo de expansão urbana e o adensamento populacional provocam rupturas drásticas no balanço hídrico natural, modificando de forma irreversível os mecanismos de interceptação, infiltração, armazenamento e escoamento superficial (CANHOLI, 2015; TUCCI, 2016). A substituição da cobertura vegetal nativa e dos solos permeáveis por superfícies impermeáveis — como telhados, pavimentos asfálticos, calçadas de concreto e praças pavimentadas — suprime a capacidade de infiltração (I) e a recarga dos aquíferos, convertendo a maior parcela da precipitação incidente (P) diretamente em escoamento superficial direto (R) (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2017).

Em termos de modelagem hidrológica aplicada à engenharia, essa alteração física reflete-se no incremento do Coeficiente de Escoamento Superficial (Coeficiente C do Método Racional). Enquanto bacias hidrográficas naturais com boa cobertura vegetal apresentam valores de C variando entre 0,10 e 0,20, bacias urbanizadas consolidadas podem alcançar valores de $C \geq 0,85$, indicando que mais de 85% da água precipitada escoa instantaneamente sobre a superfície (PORTO, 2014).

Além da ampliação volumétrica expressiva das vazões de pico, o meio urbano introduz superfícies lisas e retilíneas que reduzem a rugosidade hidráulica superficial e encurtam o trajeto do fluxo, comprimindo o tempo de concentração (t_c) da bacia (MIGUEZ et al., 2014). Como consequência, o hidrograma de cheia urbano exibe tempos de subida extremamente curtos e picos de vazão severamente elevados, sobrecarregando as redes hidráulicas e gerando

alagamentos recorrentes em trechos de menor cota topográfica ou fundos de vale (TUCCI, 2016).

Outrossim, a urbanização acarreta a geração e o transporte de poluição difusa. Durante o escoamento superficial sobre superfícies viárias impermeáveis, a água carrega resíduos acumulados — como óleos, graxas, hidrocarbonetos, metais pesados, sedimentos finos e matéria orgânica —, fenômeno hidrológico conhecido como *washoff*. A porção inicial dessa onda de poluição, altamente concentrada nos primeiros minutos de precipitação, denomina-se carga lavada inicial ou *first flush*, a qual é descarregada diretamente nos corpos hídricos receptores sem qualquer tratamento prévio, causando graves danos ambientais aos ecossistemas aquáticos urbanos (FLETCHER et al., 2015).

SISTEMAS CONVENCIONAIS DE DRENAGEM URBANA: MICRODRENAGEM E MACRODRENAGEM

O sistema de drenagem urbana compreende o conjunto de infraestruturas, estruturas hidráulicas e medidas operacionais destinadas ao manejo, controle, condução e disposição final das águas pluviais em áreas urbanizadas (TUCCI, 2016).

Historicamente projetado sob o paradigma higienista ou sanitarista nos séculos XIX e XX, o objetivo primordial do sistema convencional consistia na rápida coleta e no afasamento imediato dos volumes precipitados para fora dos centros habitados, reduzindo riscos sanitários (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2017).

Os sistemas convencionais de drenagem urbana estruturam-se tradicionalmente em dois subsistemas interdependentes e operantes em escalas distintas: a microdrenagem e a macrodrenagem (CANHOLI, 2015).

Microdrenagem Urbana

A microdrenagem urbana engloba o conjunto de dispositivos hidráulicos locais encarregados de captar e conduzir o escoamento superficial gerado em lotes, edificações, passeios públicos e vias urbanas. Seu dimensionamento visa conter precipitações de média magnitude e alta frequência, associadas a Períodos de Retorno (TR) tipicamente fixados entre 2 e 10 anos, dependendo da relevância viária e do uso do solo estabelecido pelo município.

A estimativa da vazão máxima de projeto (Q_{pico}) para o dimensionamento da microdrenagem em pequenas bacias hidrográficas urbanas (≤ 2 km²) é calculada classicamente através do **Método Racional**, conforme a Equação (2) (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988):

$$Q = \frac{C*i*A}{360} (2)$$

Em que (Q_{pico}) é a vazão máxima de projeto (m³/s), C é o coeficiente de escoamento superficial, i é a intensidade da precipitação (mm/h) e A é a área de contribuição (ha).

Para o dimensionamento hidráulico e verificação da capacidade de condução das galerias pluviais subterrâneas operando como condutos livres, emprega-se a **Equação de Manning**, apresentada na Equação (3) (CHOW, 1959):

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) * A * R_h^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} (3)$$

Em que Q é a vazão (m³/s), n é o coeficiente de rugosidade de Manning do material (n ≈ 0,013 para concreto), A_h é a área molhada (m²), R_h é o raio hidráulico (m) e I é a declividade longitudinal do conduto (m/m).

A rede de microdrenagem é composta por diversos dispositivos hidráulicos que atuam de forma integrada para garantir o adequado funcionamento do sistema, sendo eles: sarjeta, boca de lobo, poço de visita e galerias pluviais.

Sarjetas

As sarjetas constituem canais longitudinais triangulares ou trapezoidais rasos, localizados na interface entre o leito pavimentado da via e o meio-fio. Sua função hidráulica primária consiste em recolher o escoamento superficial gerado nas pistas e conduzi-lo longitudinalmente até os pontos de captação. O dimensionamento considera a declividade transversal da pista, a declividade longitudinal da rua e a capacidade máxima de vazão sem transbordar para a faixa de tráfego de veículos. Conforme apresentado na Figura 1

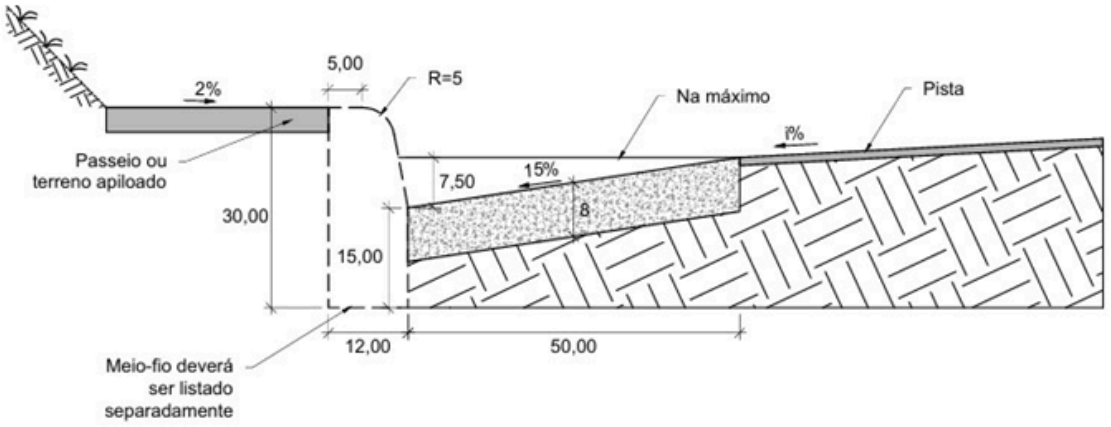


Figura 1: Representação de Seção Transversal de Sarjeta. Fonte: Adaptado de DER-MG (2025, P. 42)

Bocas de Lobo

As bocas de lobo são estruturas hidráulicas de captação encarregadas de interceptar a água escoada pelas sarjetas e direcioná-la para a rede subterrânea de galerias pluviais. Classificam-se em laterais (junto ao meio-fio), de grelha (no plano da sarjeta) ou combinadas. A eficiência dessas estruturas depende da velocidade do escoamento e da geometria de abertura; quando a vazão supera a capacidade de captação, ocorre o fenômeno do *carry-over*, onde a água passa direto pelo dispositivo. Conforme apresentado na Figura 2

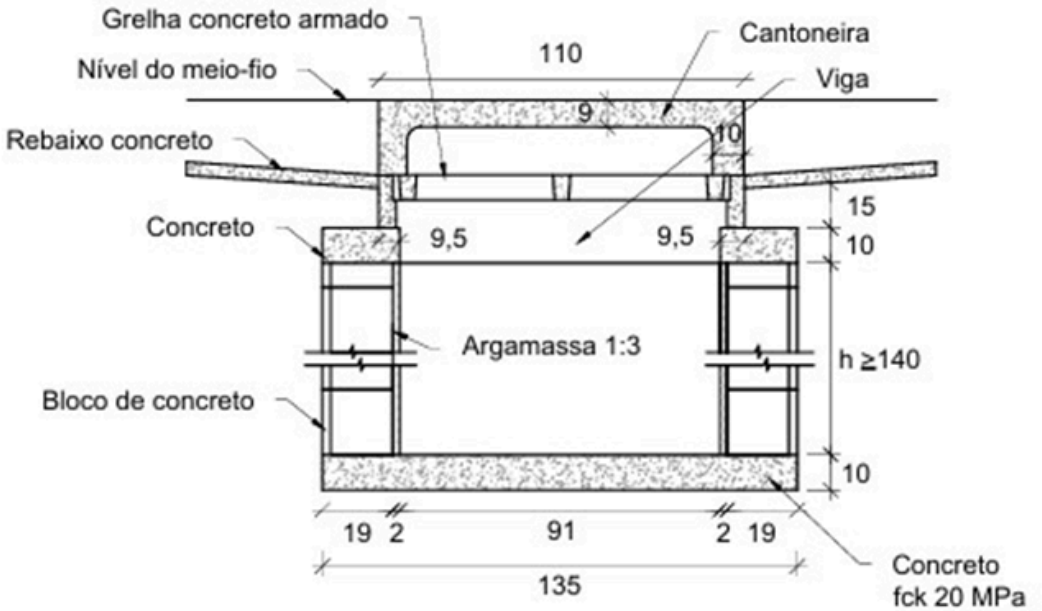


Figura 2: Representação da Seção Transversal de Boca de Lobo. Fonte: Adaptado de DER-MG (2025, p. 43)

Poços de Visita (PV)

Os poços de visita são câmaras subterrâneas de inspeção e acesso instaladas ao longo das galerias pluviais. São obrigatórios em pontos de mudança de alinhamento horizontal ou vertical, alteração de diâmetro, declividade ou na junção entre diferentes trechos de tubulação. Sua presença é fundamental para viabilizar as operações de manutenção, desobstrução mecânica e limpeza da rede subterrânea. Conforme apresentado na Figura 3

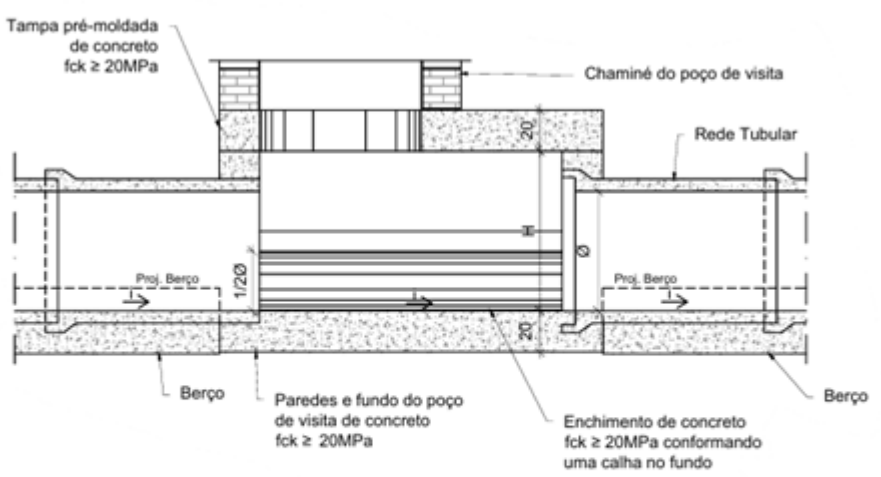


Figura 3: Representação de Seção Transversal de Poço de Visita. Fonte: Adaptado DER-MG (2025, p. 46)

Galerias Pluviais

As galerias pluviais consistem em condutos subterrâneos (geralmente tubos de concreto) destinados a transportar o volume d'água captado pelas bocas de lobo até os corpos receptores ou canais de macrodrenagem. Operam majoritariamente sob o regime de escoamento de superfície livre (condutos livres). O seu dimensionamento hidráulico emprega a Equação de Manning, adotando-se coeficientes de rugosidade adequados ao material empregado (como $n \approx 0{,}013$ para tubulações de concreto). Conforme apresentado na Figura 4



Figura 4: Representação de Galerias Pluviais. Fonte: engenheiroplanilheiro.com.br

Macrodrenagem Urbana

A macrodrenagem urbana consiste na rede de grande porte responsável por receber as vazões efluentes da microdrenagem, além dos deflúvios de bacias e sub-bacias hidrográficas de maior dimensão territorial (TUCCI, 2016). É composta por canais abertos (naturais, revestidos de concreto ou retificados), galerias celulares de grande seção, pontes, bueiros e reservatórios de amortecimento.

Ao contrário da microdrenagem, os projetos de macrodrenagem envolvem riscos socioeconômicos e ambientais elevados, sendo dimensionados para Períodos de Retorno de grande magnitude (geralmente TR entre 25 e 100 anos) (CANHOLI, 2015). A estimativa das vazões de cheia na macrodrenagem exige o emprego de hidrogramas sintéticos e modelagens hidrológicas complexas (como os modelos chuva-vazão SWMM e HEC-HMS).

A Tabela 1 sintetiza as principais distinções técnicas e conceituais entre os subsistemas de microdrenagem e macrodrenagem no planejamento urbano:

Tabela 1 – Comparação entre os subsistemas de microdrenagem e macrodrenagem

Parâmetro Técnico	Microdrenagem Urbana	Macrodrenagem Urbana
Tempo de Retorno (TR)	2 a 10 anos (admitindo falhas pontuais e escoamento em sarjetas)	25, 50 a 100 anos (devido ao elevado potencial de danos severos)
Método Hidrológico	Método Racional para estimativa de vazões de pico pontuais	Modelos chuva-vazão e hidrogramas de cheia (HUS, SWMM, HEC-HMS)
Regime Hidráulico	Condutos livres subterrâneos e escoamento em canais rasos (sarjetas)	Canais abertos, rios urbanos e galerias celulares de grande porte
Escala Espacial	Microbacias e vias urbanas isoladas (≤ 2 km²)	Bacias e sub-bacias hidrográficas de grande escala (vários km²)

Fonte: Adaptado de Ministério das Cidades (2018) e Tucci (2016).

Limitações Hidrológicas e Falhas do Modelo Higienista

Apesar de sua eficácia histórica na higiene pública das cidades, o modelo convencional baseado na impermeabilização e na canalização ágil apresenta falhas estruturais quando submetido ao adensamento urbano contínuo e à variabilidade climática (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2017).

A canalização e o revestimento em concreto dos cursos d'água reduzem a rugosidade do leito, acelerando excessivamente a velocidade de propagação das ondas de cheia. Essa aceleração transfere os volumes de água de forma instantânea para jusante, provocando o colapso hidráulico nas regiões mais baixas da bacia (fundos de vale e áreas ribeirinhas). Ademais, sistemas projetados estritamente sob séries históricas ultrapassadas mostram-se rígidos e incapazes de absorver eventos pluviométricos extremos mais frequentes, gerando extravasamentos recorrentes (TUCCI, 2016).

Técnicas Compensatórias de Drenagem Urbana e sua Aplicação na Requalificação do Espaço Urbano

As técnicas compensatórias de drenagem urbana constituem um conjunto integrado de medidas estruturais e não estruturais projetadas para contrabalançar os efeitos adversos da impermeabilização do solo. Atuando diretamente na origem do escoamento superficial, essas soluções retardam a propagação das ondas de cheia, reduzem as vazões de pico e filtram poluentes antes que alcancem os corpos receptores (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2017). Em tecidos urbanos consolidados — caracterizados pela elevada densidade construtiva, escassez de áreas permeáveis e limitação para a ampliação de grandes reservatórios —, a implementação dessas técnicas ocorre prioritariamente por meio de intervenções descentralizadas de *retrofit* e requalificação da infraestrutura existente.

Pavimentos Permeáveis

Os pavimentos permeáveis operam substituindo as superfícies asfálticas ou de concreto impermeáveis tradicionais por estruturas revestidas com materiais porosos ou blocos intertravados dotados de juntas alargadas preenchidas com agregados graúdos. Sua função hidráulica primária consiste em permitir a infiltração imediata da água da chuva diretamente no local de precipitação, armazenando temporariamente o volume escoado nos poros da camada base granular antes de sua infiltração gradual no solo subjacente ou de sua liberação controlada. Em municípios já desenvolvidos, essa tecnologia é aplicada estrategicamente em estacionamentos, calçadas de pedestres, praças, ciclovias e vias de tráfego local leve. A substituição do pavimento convencional por sistemas porosos permite reduzir expressivamente o coeficiente de escoamento superficial (C) da bacia sem a necessidade de desapropriações de imóveis ou grandes intervenções estruturais nas redes subterrâneas (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2017).

Biovaletas (*Swales* Vegetados)

As biovaletas caracterizam-se como canais superficiais de seção trapezoidal ou parabólica, revestidos por vegetação densa e projetados para conduzir, retardar e infiltrar o escoamento superficial proveniente de vias e lotes adjacentes. Além de diminuírem a velocidade de propagação do fluxo através do aumento da rugosidade hidráulica (coeficiente de Manning), essas estruturas funcionam como filtros físicos e biológicos na retenção de sedimentos, óleos e poluentes difusos (*washoff*) carreados pelas precipitações iniciais. Em ambientes urbanos densos, a implementação de biovaletas viabiliza-se na requalificação de canteiros centrais de avenidas, em faixas marginais de canais urbanos ou ao longo de vias públicas cujo perfil

transversal admita a substituição de sarjetas rígidas de concreto por canais vegetados abertos, interceptando a água antes do seu ingresso na rede subterrânea (CANHOLI, 2015; BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD,2017).

Trincheiras de Infiltração

As trincheiras de infiltração consistem em valas escavadas no solo, preenchidas com material granular graúdo (brita) e envolvidas por mantas geotêxteis, atuando como reservatórios subterrâneos lineares. Sua finalidade principal é acumular temporariamente o volume de água pluvial nos vazios do agregado e promover sua infiltração gradual no perfil de solo circundante. Essa solução demonstra elevada viabilidade para áreas consolidadas com severa restrição de espaço na superfície, podendo ser instalada sob o leito viário, abaixo de estacionamentos ou em faixas de recuo de edificações. Dessa forma, as trincheiras possibilitam o armazenamento e a infiltração das águas pluviais de maneira oculta, aliviando galerias sobrecarregadas sem interferir nos usos e atividades da superfície urbana (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2017).

Reservatórios de Detenção e Retenção

Os reservatórios de detenção e retenção correspondem a estruturas de armazenamento de maior porte projetadas para o amortecimento de vazões de pico em escala de bacia ou microbacia hidrográfica. Os reservatórios de detenção operam predominantemente a seco durante períodos de estiagem, retendo transitoriamente as águas durante tempestades e liberando-as com vazão restrita e controlada após o pico pluviométrico. Por outro lado, os reservatórios de retenção mantêm uma lâmina d'água permanente, integrando o controle hidráulico ao uso paisagístico e recreativo. A incorporação dessas infraestruturas em centros urbanos consolidados demanda o aproveitamento multifuncional de espaços públicos, como a conversão de praças e parques municipais em áreas de inundação temporária controlada, que acumulam os excedentes hídricos nas cheias extremas e preservam suas funções sociais nos períodos secos (CANHOLI 2015).

Jardins de Chuva (*Rain Gardens*): Biorretenção, Hidráulica e Estrutura Construtiva

Os jardins de chuva, internacionalmente classificados como células de biorretenção (*bioretention cells*), representam uma das técnicas compensatórias mais completas no contexto da infraestrutura verde (FLETCHER et al., 2015). Trata-se de depressões topográficas

vegetadas projetadas para captar, armazenar temporariamente, filtrar e infiltrar o escoamento superficial oriundo de superfícies impermeáveis adjacentes.

Funcionamento Hidrodinâmico

A água pluvial acumula-se temporariamente na depressão superficial formando uma lâmina de retenção (*ponding zone*). A percolação vertical através do substrato filtrante obedece à **Lei de Darcy** para condutividade hidráulica saturada (K_{sat}), expressa pela Equação (4):

$$q = -K_{sat} \cdot \frac{dh}{dz} \quad (4)$$

Em que q é a taxa de fluxo por unidade de área (m/s), K_{sat} é a condutividade hidráulica saturada do solo (m/s), e $\frac{dh}{dz}$ representa o gradiente hidráulico vertical ao longo do meio filtrante.

Perfil Estratigráfico Construtivo

A seção transversal típica de um jardim de chuva é composta pelas seguintes camadas:

1. Zona de Depósito Superficial (*Ponding Zone*): Lâmina livre retida na superfície (altura entre 15cm e 30cm) para atenuação inicial do pico de vazão;
2. Cobertura Orgânica Protetora (*Mulch*): Camada de 5 a 7 cm de cavacos de madeira para proteção contra erosão, retenção de umidade e degradação de poluentes;
3. Substrato Filtrante (*Filter Media*): Camada de 60 a 90 cm composta por mistura otimizada de 85% a 88% de areia lavada de granulação média/grossa, 8% a 12% de composto orgânico e teor de argila <5%, garantindo condutividade hidráulica (K_{sat}) entre 50 mm/h e 150mm/h;
4. Manta Geotêxtil Não Tecida: Elemento de separação posicionado na interface inferior do substrato para impedir a migração de finos e evitar a colmatação da camada drenante;
5. Camada Drenante de Base (*Storage Layer*): Colchão de brita graúda de 20 a 30 cm com porosidade de 35% a 40% para armazenamento temporário;
6. Sistema de Drenagem Subterrânea e Extravasamento (*Underdrain/Overflow*): Tubo dreno de PEAD perfurado instalado na base da brita (para solos de baixa permeabilidade) e vertedouro/boca de lobo superficial para extravasamento seguro em tempestades extremas.

Localização e Contexto Urbano

O município de Araguaína está localizado na região norte do estado do Tocantins, consolidando-se como o principal polo econômico, demográfico e de serviços da região macro-norte do estado. Nas últimas décadas, a cidade tem experimentado um processo de expansão urbana acelerado, acompanhado pela intensa verticalização e pela pavimentação generalizada de novas vias, o que gerou um crescimento expressivo das superfícies impermeáveis no tecido urbano.

A área de estudo foco desta pesquisa compreende a Avenida Marginal Neblina, um dos eixos viários e comerciais mais importantes de Araguaína, que acompanha o fundo de vale da bacia hidrográfica do Córrego Neblina. Por estar situada em uma cota topográfica de baixa altitude em relação ao seu entorno, a via funciona como um canal natural de convergência e escoamento das águas pluviais oriundas dos setores adjacentes.

Condições Climáticas e Regime Pluviométrico

O clima do município de Araguaína é classificado como tropical (tipo *Aw* segundo a classificação de Köppen), caracterizado por duas estações bem definidas: uma estação seca (geralmente entre maio e setembro) e uma estação chuvosa concentrada entre os meses de outubro e abril. O regime pluviométrico regional destaca-se pela ocorrência de chuvas convectivas de alta intensidade e curta duração, típicas das regiões de transição entre o Cerrado e a Amazônia (INMET, 2023; TUCCI, 2002).

Esses eventos extremos de precipitação despejam grandes volumes d'água em intervalos curtos, elevando abruptamente as taxas de escoamento superficial nas bacias urbanizadas e impondo severas sobrecargas aos sistemas tradicionais de drenagem.

Relevo e Características Fisiográficas da Bacia

A bacia hidrográfica que abrange a Avenida Marginal Neblina apresenta características topográficas desfavoráveis ao escoamento livre natural em eventos de cheia. O perfil longitudinal da via é marcado por baixa declividade no trecho central, o que reduz drasticamente a velocidade de propagação do fluxo hídrico e acarreta a retenção e o remanso das águas pluviais.

Essa configuração geomorfológica favorece a formação de pontos de alagamento estagnado, uma vez que a água acumulada não escoa com a rapidez necessária devido ao gradiente hidráulico reduzido do terreno e à saturação da calha do Córrego Neblina.

Uso e Ocupação do Solo

O entorno da Avenida Marginal Neblina caracteriza-se por uma ocupação urbana consolidada, com alta taxa de impermeabilização do solo. A expansão imobiliária substituiu as coberturas vegetais originais e os solos porosos por telhados de edificações, estacionamentos asfaltados, calçadas de concreto e vias pavimentadas de intenso tráfego.

Essa supressão da permeabilidade natural rompe o ciclo hidrológico local, suprimindo a infiltração e convertendo quase a totalidade da precipitação pluviométrica em escoamento superficial direto (*runoff*), que é direcionado de forma acelerada para o eixo da avenida (CANHOLI, 2015; MIGUEZ et al., 2014).

Sistema de Drenagem Urbana Existente

O sistema de drenagem pluvial implantado ao longo da Avenida Marginal Neblina é composto predominantemente por elementos de microdrenagem convencional (sarjetas, bocas de lobo laterais e galerias subterrâneas de concreto) associados a trechos de canalização do Córrego Neblina.

Contudo, diagnósticos visuais e operacionais indicam que a capacidade hidráulica dessas estruturas é insuficiente para suportar as vazões de pico geradas durante as chuvas intensas de verão. A insuficiência de seção das galerias e o estrangulamento pontual em travessias geram remansos e transbordamentos frequentes.

Histórico de Alagamentos e Vulnerabilidade Local

A Avenida Marginal Neblina registra episódios recorrentes e severos de alagamentos e inundações durante o período chuvoso, provocando graves transtornos à mobilidade urbana, prejuízos materiais a comércios e residências locais, além de riscos iminentes à segurança de pedestres e condutores. Conforme apresentado nas figuras 5 e 6.

Esses eventos críticos evidenciam-se de maneira dramática em trechos específicos da via, como nas proximidades de equipamentos de grande porte e cruzamentos estratégicos — a exemplo da região próxima ao Hospital Dom Orione —, onde o acúmulo de lâminas d'água elevadas chega a submergir veículos e interromper totalmente o tráfego viário.

Figura 5 – Ocorrência de alagamento severo e submersão de veículos na Avenida Marginal Neblina.



Figura 5: Fonte: Acervo da pesquisa / Redes sociais locais (2026).



Figura 6: Mapeamento altimétrico e modelagem do relevo da bacia hidrográfica do Córrego Neblina em Araguaína – TO. Fonte: Elaborado pelas autoras (2026).

Síntese da Caracterização

A análise integrada das condições físicas, climáticas e urbanas da Avenida Marginal Neblina comprova que a reincidência de alagamentos não constitui um problema isolado, mas sim o reflexo direto do desequilíbrio hidrológico provocado pela alta impermeabilização do solo, associada à baixa declividade do fundo de vale e às limitações da microdrenagem convencional.

Esse cenário valida tecnicamente a necessidade de adotar medidas estruturais complementares baseadas na infraestrutura verde, justificando a proposição de jardins de chuva como estratégia de controle na fonte para a mitigação de alagamentos na via.

METODOLOGIA

O presente estudo possui caráter aplicado, uma vez que busca desenvolver uma solução técnica viável para um problema real de engenharia de drenagem urbana identificado na Avenida Marginal Neblina, no município de Araguaína – TO. Em relação à abordagem do problema, a

pesquisa classifica-se como qualitativa e descritiva, fundamentando-se na análise detalhada das condições físicas, urbanas e hidrológicas da área de estudo, bem como na interpretação crítica do comportamento do sistema de drenagem convencional existente. Quanto aos objetivos, o trabalho é delineado como exploratório e propositivo, investigando os fatores causais associados aos alagamentos recorrentes na região e propondo a implantação de técnicas compensatórias de drenagem urbana baseadas em infraestrutura verde.

O desenvolvimento da pesquisa foi estruturado em etapas metodológicas sequenciais, descritas a seguir:

Caracterização e Diagnóstico da Área de Estudo

Inicialmente envolve-se o diagnóstico físico e ambiental da Avenida Marginal Neblina. Por meio de vistorias técnicas virtuais, análise de imagens de satélite, dados de relevo (modelagem altimétrica) e do histórico pluviométrico regional, foram mapeados os fatores críticos que favorecem os alagamentos locais. Destacaram-se a baixa declividade do fundo de vale, o elevado grau de impermeabilização do solo no entorno e a insuficiência da microdrenagem convencional. Esta etapa também incorporou o registro fotográfico de eventos extremos na via (como as inundações na região do Hospital Dom Orione) para evidenciar a vulnerabilidade do trecho.

Análise Hidrológica Conceitual

Na sequência baseou-se na interpretação hidrológica conceitual fundamentada nos princípios do Método Racional para estimativa de vazões máximas de projeto (Q_{pico}) e na Equação de Manning para escoamento em condutos livres. A análise focou na compreensão do comportamento do escoamento superficial direto (R), na redução do tempo de concentração (t_c) e na geração de poluição difusa (*first flush*) provocada pela alta taxa de ocupação urbana.

Formulação da Proposta de Intervenção (Jardins de Chuva)

Com base no diagnóstico da bacia e no referencial teórico, foi formulada a proposta de implantação de jardins de chuva (sistemas de biorretenção) distribuídos em pontos estratégicos da Avenida Marginal Neblina. A metodologia de concepção considerou:

- A retenção do volume de escoamento superficial na fonte;

- A definição do perfil estratigráfico (lâmina de detenção superficial, camada de *mulch*, substrato filtrante, manta geotêxtil e camada drenante de brita);
- A integração da técnica com o sistema viário existente, visando o alívio da sobrecarga nas galerias pluviais subterrâneas.

Limitações do Estudo

Ressalta-se que o presente trabalho apresenta como limitação metodológica a ausência de modelagem computacional detalhada (por softwares como SWMM ou HECHMS) e de campanhas de medição in loco, estruturando-se sobre uma sólida análise técnica, teórica e interpretativa. Contudo, tal limitação não invalida os resultados, visto que o escopo concentra-se na avaliação da viabilidade conceitual, funcional e projetual da infraestrutura verde para o contexto urbano analisado.

PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE JARDINS DE CHUVA NA AVENIDA MARGINAL NEBLINA

A proposta central deste trabalho consiste na concepção e no planejamento da implantação de jardins de chuva (sistemas de biorretenção) como técnica compensatória de drenagem urbana na Avenida Marginal Neblina, localizada no município de Araguaína – TO. A escolha desta área fundamenta-se na recorrência crítica de alagamentos durante os períodos de chuvas intensas, associada às condicionantes fisiográficas da bacia, tais como a baixa declividade do fundo de vale, a elevada taxa de impermeabilização do solo e a sobrecarga hidráulica do sistema de microdrenagem convencional existente.

Concepção e Estratégia de Intervenção

A formulação da proposta parte do princípio de que a rede de drenagem convencional da via não possui capacidade geométrica e hidráulica suficiente para absorver os grandes volumes de escoamento superficial gerados em eventos de precipitação convectiva severa, resultando em acúmulo de lâminas d'água e interrupção da mobilidade urbana.

Para solucionar esse problema sem a necessidade de intervenções invasivas e de alto custo — como a substituição ou redimensionamento de toda a galeria subterrânea, adota-se a estratégia de controle na fonte. Os jardins de chuva são concebidos como unidades descentralizadas de biorretenção distribuídas ao longo de trechos estratégicos da avenida, atuando na retenção temporária do escoamento antes que este ingresse de forma concentrada na rede subterrânea.

Critérios de Localização e Seleção de Trechos

A implantação dos jardins de chuva deve ser direcionada a pontos específicos que apresentem maior vulnerabilidade hidrológica e características geométricas favoráveis:

- Trechos de Baixa Cota Altimétrica: Localização prioritária nas regiões de depressão e fundo de vale da via (como nas imediações de cruzamentos críticos e próximos ao Hospital Dom Orione), onde o escoamento superficial converge naturalmente.
- Disponibilidade de Espaço Viário: Utilização de áreas marginais, canteiros centrais alargados, rotatórias e extensões de calçadas (*bulb-outs*) que permitam a inserção dos dispositivos sem comprometer a geometria de tráfego veicular.
- Proximidade das Áreas Impermeáveis Contribuintes: Posicionamento estratégico a jusante de grandes superfícies asfaltadas e telhados adjacentes, otimizando a captação direta do escoamento superficial gerado pelo *runoff*.

Arranjo Construtivo e Perfil Típico Proposto

Para a Avenida Marginal Neblina, o perfil transversal dos jardins de chuva deve seguir rigorosamente as especificações técnicas de engenharia de biorretenção, garantindo estabilidade e eficiência hidráulica:

1. Depósito Superficial (*Ponding Zone*): Depressão topográfica rebaixada entre 15 cm e 30 cm em relação ao nível da sarjeta, dotada de uma abertura lateral controlada na guia para permitir a entrada do fluxo superficial e dotada de vertedouro de segurança (*overflow*) para vazões excedentes.
2. Camada de Cobertura Orgânica (*Mulch*): Espessura de 5 cm e 7 cm de cavacos de madeira para proteção contra erosão e retenção inicial de poluentes difusos.

3. Substrato Filtrante (*Filter Media*): Camada espessa de 60 cm a 90 cm composta por mistura otimizada de areia lavada, matéria orgânica e solo selecionado, assegurando condutividade hidráulica adequada para a infiltração rápida.
4. Camada Drenante e Tubulação Subterrânea: Colchão de brita graúda limpa na base com 20 cm e 30 cm de espessura, abrigando um **tubo dreno perfurado** conectado diretamente ao sistema de microdrenagem existente para escoamento do excedente filtrado.

5. Seleção Vegetativa: Emprego de espécies vegetais nativas e rústicas (adaptadas ao regime de transição Cerrado-Amazônia), capazes de tolerar tanto submersões temporárias quanto períodos de estiagem prolongada.

Benefícios Hidráulicos e Ambientais Integrados

A adoção desta proposta traz múltiplos impactos positivos para a Avenida Marginal Neblina:

- Amortecimento de Vazões de Pico: Redução da carga hidráulica instantânea sobre as galerias pluviais subterrâneas, mitigando o risco de transbordamento.
- Retenção de Poluentes Difusos (*First Flush*): Filtragem biológica e retenção de sedimentos, óleos, graxas e metais pesados carreados pelas águas das chuvas iniciais.
- Qualificação Paisagística e Conforto Térmico: Transformação de trechos cinzentos da avenida em áreas verdes multifuncionais, valorizando o espaço urbano e melhorando o microclima local.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar as deficiências estruturais do sistema de drenagem urbana convencional e propor a aplicação de jardins de chuva como técnica compensatória para a mitigação de alagamentos na Avenida Marginal Neblina, localizada no município de Araguaína – TO. Por meio da fundamentação teórica, da caracterização física da bacia e da análise hidrológica conceitual, foi possível compreender a relação direta entre o processo de expansão urbana, a impermeabilização generalizada do solo e a intensificação de eventos críticos de inundação.

A investigação evidenciou que o modelo tradicional de drenagem urbana, pautado na abordagem higienista e no transporte rápido das águas pluviais, gera impactos severos ao ciclo hidrológico local. A substituição de superfícies permeáveis por pavimentos impermeáveis suprime a infiltração, reduz o tempo de concentração da bacia e eleva exponencialmente as vazões de pico, sobrecarregando as redes de microdrenagem e transferindo os problemas de inundação para os trechos de menor cota topográfica.

Nesse contexto, verificou-se que a adoção de técnicas compensatórias de drenagem sustentável e de infraestrutura verde constitui uma alternativa tecnicamente viável e altamente eficiente para o ambiente urbano consolidado. A proposta de implantação de jardins de chuva ao longo da Avenida Marginal Neblina demonstra que o controle do escoamento superficial na fonte

promove o amortecimento das ondas de cheia, o alívio hidráulico da rede subterrânea, a recarga parcial do lençol freático e a retenção de poluentes difusos (*first flush*).

Ademais, destaca-se que os sistemas de biorretenção agregam múltiplos benefícios ambientais e socioespaciais, unindo a engenharia hidráulica à qualificação paisagística e à melhoria do microclima urbano. Embora o presente estudo apresente limitações metodológicas pautadas na ausência de modelagem computacional detalhada e medições de campo contínuas, os resultados teóricos e projetuais alcançados cumprem plenamente o objetivo de validar a viabilidade da intervenção.

Conclui-se que soluções baseadas na natureza representam um caminho estratégico e indispensável para a gestão sustentável das águas pluviais em cidades que enfrentam vulnerabilidades hidrológicas semelhantes à da Avenida Marginal Neblina. Recomenda-se para trabalhos futuros o desenvolvimento de simulações numéricas detalhadas e o dimensionamento quantitativo in loco do desempenho hidráulico dessas estruturas.

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. 3. ed. Porto Alegre: ABRH, 2017.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2013.

FLETCHER, T. D. et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and terminology of urban drainage design. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 7, p. 525-542, 2015.

MCCUEN, R. H. **Hydrologic analysis and design**. 3. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2004.

MIGUEZ, M. G. et al. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

PORTO, R. M. **Hidráulica básica**. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2014.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2002.

TUCCI, C. E. M. **Regulamentação da drenagem urbana**. Porto Alegre: Rhama, 2016.

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