

Poços de infiltração como Solução Sustentável de Drenagem Urbana: Dimensionamento e desempenho em Altamira-PA

Infiltration wells as a sustainable solution for urban drainage: Sizing and performance in Altamira-PA

Manoel Vidal Pantoja Junior¹, Márcio Moreira da Cunha², Juliane da Costa Cavalcante³, Jorge Fernando Hungia Ferreira⁴

¹Engenheiro Ambiental e Sanitarista – Universidade do Estado do Pará
(Manoel.vjunior001@email.com.br)

²Engenheiro Ambiental e Sanitarista – Universidade do Estado do Pará
(marciouepa16@gmail.com)

³Doutora em Ciências Ambientais – Universidade Federal do Pará
(julianecosta63@gmail.com)

⁴Doutor em Engenharia Civil – Universidade Federal do Pará
(fernandohughes13@gmail.com)

RESUMO: A intensificação da impermeabilização em áreas urbanas amazônicas tem provocado alterações significativas no regime hidrológico, ampliando a frequência de alagamentos e a sobrecarga dos sistemas convencionais de escoamento. Este estudo teve como objetivo dimensionar e avaliar tecnicamente poços de infiltração destinados ao controle do escoamento superficial em área institucional localizada no município de Altamira. A pesquisa caracterizou-se como estudo de caso, envolvendo a determinação da intensidade pluviométrica por meio de equação Intensidade–Duração–Frequência (IDF), ensaios de campo para obtenção da taxa de permeabilidade do solo e aplicação de critérios normativos para o dimensionamento hidráulico. Para evento com tempo de retorno de cinco anos e duração de 60 minutos, estimou-se intensidade de 66,944 mm/h, resultando em volume escoado de 303,91 m³ sobre área de contribuição de 4.357 m². A taxa média de infiltração obtida foi de 1,28 cm/h. O dimensionamento indicou a necessidade de seis unidades para absorver integralmente o volume precipitado no cenário de projeto. Os resultados demonstram a viabilidade técnica da adoção de medidas compensatórias descentralizadas como estratégia para redução de picos de vazão e mitigação de impactos hidrológicos em contextos urbanos de elevada pluviosidade.

Palavras Chave: Sustentabilidade hídrica; Manejo pluvial; Soluções baseadas na natureza.

ABSTRACT: The intensification of soil sealing in Amazonian urban areas has significantly altered the hydrological regime, increasing the frequency of flooding events and overloading conventional drainage systems. This study aimed to design and technically evaluate infiltration wells intended to control surface runoff in an institutional area located in the municipality of Altamira. The research was structured as a case study, involving the determination of rainfall intensity through an Intensity–Duration–Frequency (IDF) equation, field tests to obtain soil permeability rates, and the application of technical standards for hydraulic design. For a rainfall event with a five-year return period and 60-minute duration, an intensity of 66.944 mm/h was estimated, resulting in a runoff volume of 303.91 m³ over a drainage area of 4,357 m². The average infiltration rate obtained was 1.28 cm/h. The design indicated the need for six units to fully absorb the precipitated volume under the proposed scenario. The results demonstrate the technical feasibility of adopting decentralized compensatory measures as a strategy to reduce peak flows and mitigate hydrological impacts in highly rainy urban environments.

Keywords: Water sustainability; Stormwater management; Nature-based solutions.

Recebido em:
08/06/2026
Revisado em:
14/09/2026
Publicado em:
28/09/2026

1. INTRODUÇÃO

A rápida expansão urbana observada nas últimas décadas tem provocado profundas transformações nos ambientes naturais, alterando fluxos hidrológicos e comprometendo o equilíbrio ambiental (Tucci, 2012; Mendes; Santos, 2022). O aumento da densidade populacional, associado à intensificação de atividades econômicas, impulsiona a ocupação do solo e resulta na substituição de superfícies permeáveis por materiais impermeáveis, reduzindo drasticamente a capacidade de infiltração e elevando o escoamento superficial (Hochstetler, 2021; Jungbeck, 2023). Esse processo, amplamente documentado no Brasil e no mundo, tem ampliado a ocorrência de alagamentos, enchentes urbanas e degradação da qualidade da água, sobretudo em cidades com crescimento acelerado e planejamento urbano insuficiente (Santos *et al.*, 2017).

No contexto amazônico, tais impactos tornam-se ainda mais relevantes, dada a dinâmica climática marcada por precipitações intensas e pela expansão urbana recente (Novais, Machado, 2023). Altamira-PA, por exemplo, passou de 35% de população urbana em 1970 para 85% em 2010, refletindo um processo acelerado de urbanização que intensificou pressões sobre o sistema de drenagem urbana (Rodrigues; Cavalcante, 2022). A expansão do perímetro urbano e a impermeabilização progressiva modificam o ciclo hidrológico, elevando picos de vazão e reduzindo a recarga de aquíferos, o que acarreta consequências como erosão, assoreamento e recorrência de alagamentos (Mendes; Santos, 2022).

Tradicionalmente, as cidades brasileiras têm adotado sistemas convencionais de drenagem baseados na coleta e na condução rápida das águas pluviais por galerias subterrâneas até os cursos d'água (Tucci, 2012; Jungbeck, 2023). Embora esse modelo tenha apresentado resultados satisfatórios em contextos urbanos menos densos, sua eficiência torna-se limitada diante da expansão urbana desordenada e da crescente impermeabilização do solo, que aumentam o volume do escoamento superficial e favorecem a ocorrência de sobrecargas na rede de drenagem (Calvário; Santos, 2021). Além disso, a deficiência na manutenção da infraestrutura contribui para a ocorrência de obstruções e reduz a capacidade operacional do sistema. Nesse contexto, a abordagem higienista, centrada exclusivamente na rápida remoção das águas pluviais, tem se mostrado insustentável, uma vez que transfere os impactos para áreas a jusante, gera elevados custos de implantação e manutenção e apresenta dificuldades para acompanhar o ritmo de crescimento das cidades (Wills, 2023).

Como alternativa, ganham destaque as técnicas compensatórias de drenagem, orientadas por princípios de sustentabilidade e controle na fonte, capazes de reduzir a carga sobre os sistemas tradicionais e favorecer a recarga hídrica (Zopone, 2019). Dentro desse conjunto, os poços de infiltração configuram-se como uma solução eficiente para áreas pontuais, ao permitir a infiltração direta das águas pluviais no subsolo, atenuando picos de vazão e contribuindo para a mitigação de alagamentos (Baptista *et al.*, 2005; Sponchiado, 2021; Adasa, 2023). Tais estruturas apresentam baixo custo de implantação, reduzida ocupação de área e adaptabilidade a diferentes contextos urbanos, sendo recomendadas especialmente para solos com boa capacidade de infiltração (Martins, 2017; Calvário; Santos, 2021).

A eficiência desses dispositivos depende diretamente das condições físico-hídricas do solo, sobretudo do coeficiente de permeabilidade (k), que influencia a velocidade de infiltração e o dimensionamento adequado das estruturas (Idalgo *et al.*, 2018; Gomes *et al.*, 2017). Sua determinação por meio de ensaios de campo, como o infiltrômetro de anéis concêntricos, oferece dados essenciais para o planejamento de sistemas de drenagem sustentável e para o correto dimensionamento de dispositivos de controle na fonte (ABGE, 2021; Nunes *et al.*, 2012).

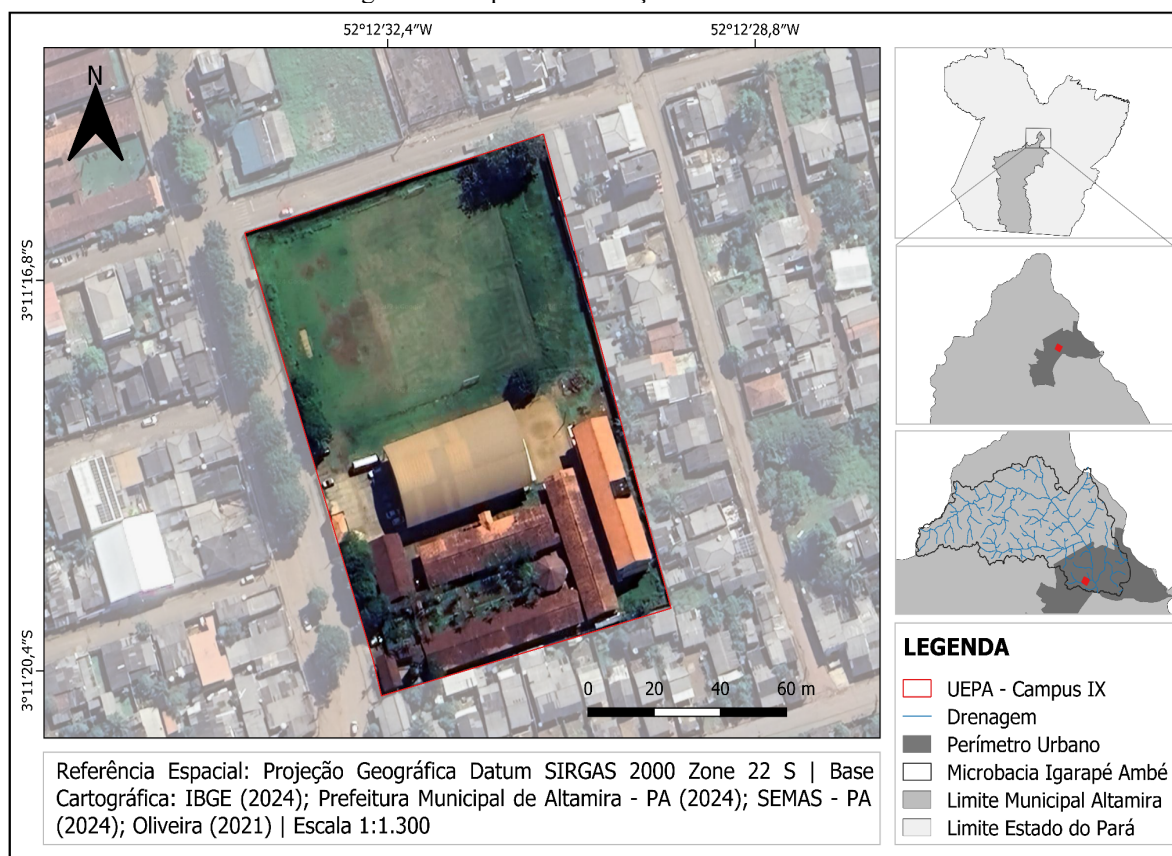
Como alternativa às abordagens convencionais de drenagem, os poços de infiltração têm sido empregados como medida compensatória para promover a infiltração das águas pluviais, reduzir o escoamento superficial e minimizar os impactos decorrentes da impermeabilização do solo, o presente estudo avalia o dimensionamento e o desempenho de poços de infiltração como ferramenta para o manejo sustentável das águas pluviais no município de Altamira-PA, considerando características locais de precipitação, impermeabilização e capacidade de infiltração do solo. A pesquisa contribui para o desenvolvimento de alternativas de drenagem mais resilientes à realidade amazônica, reforçando a importância de integrar técnicas compensatórias ao planejamento urbano regional.

2. MATERIAIS E MÉTODO

De acordo com Carvalho *et al.* (2019), esta pesquisa é do tipo exploratória, uma vez que tem o objetivo de proporcionar uma perspectiva mais panorâmica sobre uma determinada temática. Além de proporcionar a abordagem de um tema pouco explorado, ainda possibilita aperfeiçoar o conhecimento estudado, ao passo que em sua finalização, seus resultados poderão incentivar novas pesquisas com novos enfoques. Além disso, ela se enquadra como estudo de caso, já que seus mecanismos se reportam a um caso particular, com o intuito de entender suas particularidades de maneira abrangente e completa.

A área de estudo corresponde ao Campus da Universidade do Estado do Pará (UEPA), localizado no município de Altamira-PA, com coordenadas $3^{\circ}11'18''\text{S}$ e $52^{\circ}12'30''\text{W}$, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo



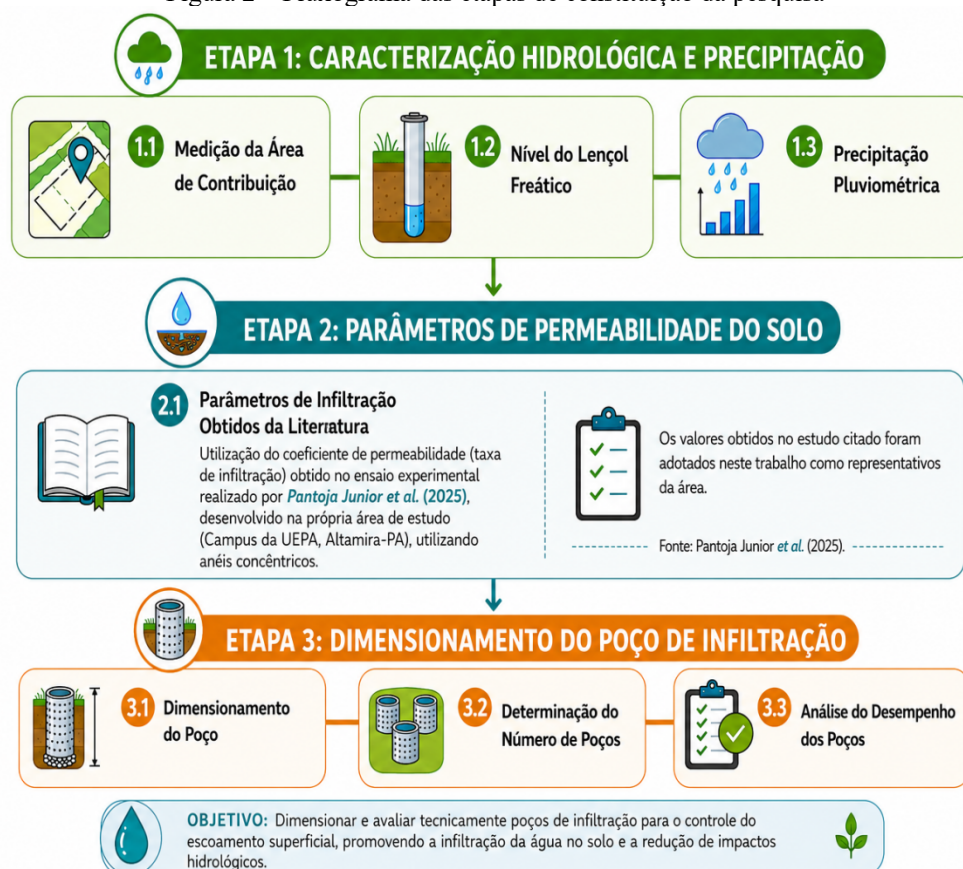
Fonte: Autores (2026).

O município de Altamira é localizado na bacia do Rio Xingu, no Estado do Pará, tendo população de 126.279 habitantes, de acordo com o último censo (Altamira, 2023). Em relação ao clima, conforme a classificação de Köppen, o município apresenta uma variação entre o tipo Equatorial "Am" (ao norte) e "Aw" (ao sul). Isso significa que o clima é tropical úmido, sem uma estação fria distinta, com uma transição gradual do tipo Equatorial para o tipo savana, indo de norte a sul, e a média anual de temperatura no município é de 27,2°C, onde a umidade relativa da região é cerca de 82% a 89% entre os meses de dezembro a maio, e de 80% a 87% nos meses de junho a novembro (Altamira, 2023).

Segundo Novais e Machado (2023), a característica hidroclimatológica da região de Altamira-PA é classificada como Clima Equatorial Seco Amazônico Central. Essa classificação faz parte do Domínio Equatorial, que abrange uma vasta área no Brasil e se caracteriza por influências climáticas específicas, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e os anticiclones do Atlântico Sul e Polar Sul. O Clima Equatorial Seco Amazônico Central têm temperaturas médias anuais variando de 22,5°C a 26,3°C e precipitações anuais entre 932 mm e 1878 mm.

A área de estudo situa-se no bairro Mutirão e é caracterizada por solos predominantemente argilosos de baixa fertilidade, com Argissolos e Latossolos Amarelos (Embrapa, 2018). A região possui geologia variada com rochas do complexo Xingu e áreas do período Pré-Cambriano. O rio Xingu, cortando a Bacia Sedimentar do Amazonas, influencia significativamente a hidrogeologia local, com rochas sedimentares e vulcânicas, depósitos aluvionares e coluvionares, além de ravinas e cavidades naturais devido à erosão dos arenitos da Formação Maecuru (Altamira, 2022). A pesquisa foi desenvolvida em três etapas, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma das etapas de constituição da pesquisa



Fonte: Autores (2026).

ETAPA 1 - CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E DETERMINAÇÃO DA INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO.

Na primeira etapa, foi identificada a área de contribuição hidrológica da Universidade do Estado do Pará (UEPA) em metros quadrados (m²). Para isso, foi utilizado o software Google Earth Pro em conjunto com o software QGIS versão 3.34, permitindo a delimitação da área de contribuição e a mensuração das superfícies existentes na instituição com base em dados de sensoriamento remoto. Foram identificadas as áreas com diferentes tipos de superfície contribuintes ao escoamento superficial, incluindo concreto, telhado e área plana. Para cada superfície, foram atribuídos valores de coeficiente de escoamento superficial (C) conforme o Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem (Brasil, 2005). O coeficiente de escoamento superficial ponderado foi determinado pela Equação 7, considerando a relação entre as áreas e seus respectivos coeficientes.

Também foi pesquisado em documentos técnicos os níveis de água do lençol freático da área da UEPA para que se possa estabelecer a profundidade máxima recomendada para o poço de infiltração dentro da área da UEPA. Em seguida, foi identificado o valor de precipitação pluviométrica utilizando a equação de intensidade, duração e frequência (Equação IDF) de chuvas estabelecida por Souza *et al.* (2012) para município de Altamira, conforme representado na Equação 01 do Quadro 4.

Na aplicação desta fórmula, foi utilizado tempo de retorno de 5 anos, baseado nas recomendações para áreas de serviço público, conforme indicado pelo manual da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 1980). Considerou-se o tempo de duração de 60 minutos para assegurar que o sistema seja capaz de infiltrar a água da chuva nos cenários de precipitação típicos e extremos da região, conforme Souza (2012).

Assim, com a finalidade de verificar se a precipitação calculada está dentro da realidade climática de Altamira, foi realizada comparação com dados históricos de precipitação de estações pluviométricas da região. No caso, foram utilizados dados de chuvas diárias disponíveis no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a confecção de uma curva de permanência, de modo a visualizar a amplitude dos valores de precipitação em Altamira e identificar se o valor calculado pela equação IDF está dentro dessa faixa. Para isso, foram levantados dados de 10 anos (de 2014 a 2024) de precipitação, os quais, desconsiderando os dias sem chuva, foram utilizados na confecção, conforme Tucci (2001), da curva de permanência adaptada aos dados de precipitação. No caso, no eixo das abscissas foi apresentada a permanência percentual (%) e no eixo das ordenadas os valores de precipitação (mm/dia). Para dimensionar o poço de infiltração na área de estudo, foram utilizadas as equações apresentadas no Quadro 1 que foram adaptadas de Adasa (2023) e CETESB (1980).

Quadro 1 – Equações Utilizadas no Dimensionamento do Poço de Infiltração

Equação 01:

$$I = \frac{k \cdot TR^a}{(t + b)^c} = \frac{1204,0580 \cdot TR^{0,1152}}{(t + 9,7894)^{0,7243}}$$

Descrição: I - Intensidade de precipitação (mm. h⁻¹); TR - Período de retorno (anos); t - Tempo de duração da chuva (min) e K, a, b, c – constantes.

Equação 02:

$$V = H \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \geq 6000 \cdot \frac{td}{P} \cdot [0,00125 \cdot A \cdot C \cdot (I - Qr) - K \cdot A_{inf} \cdot Cs]$$

Descrição: V = volume de água armazenada no poço de infiltração (m³); H = altura do poço (m); D = diâmetro do poço (m) (diâmetro médio, no caso de poço cônico); td = tempo de duração da chuva (min); P = porosidade do material granular ou índice de vazios (%); A = área de contribuição (ha); C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional); I = intensidade da chuva crítica (L/s.ha) correspondente ao tempo de duração td, calculada pela equação IDF de Altamira; Qr (L/s.ha) = vazão de restrição; K (m/s) = coeficiente de permeabilidade do solo; Cs = coeficiente de segurança de redução do coeficiente de permeabilidade (k), adotado igual a 0,5; Ainf = área de infiltração do poço, considerada igual à soma da área do fundo e da metade da lateral (m²).

Conversão de Unidades:

$$1\text{mm/h} = 2,77778 \text{ L/s.ha}$$

$$1\text{L/s.ha} = 0,36 \text{ mm/h}$$

Equação 03:

$$A_{inf} = \pi \cdot \left(\frac{D^2}{4} + \frac{D \cdot H}{2} \right) \cdot Np$$

Descrição: Ainf= Área de infiltração do poço (m²); H= profundidade do poço (m); D = diâmetro do poço (m); Np = número de poços.

Equação 04:

$$Q = 2,78 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Descrição: Q = Vazão específica, método racional (L/s); C = Coeficiente de deflúvio (adimensional); I = Intensidade de precipitação (mm/h); A = Área de contribuição (ha).

Equação 05:

$$Qr = \frac{Q}{A}$$

Descrição: Qr = Vazão de Restrição (L/s.ha); Q = Vazão específica, método racional (L/s); A = Área de contribuição (ha).

Equação 06:

$$td = \frac{\frac{Dm}{Vs}}{60}$$

Descrição: td = tempo de duração da chuva (min); Dm = Dimensão do comprimento área de contribuição (m); Vs= escoamento superficial terreno natural (m/s⁻¹).

Equação 07:

$$C = \frac{\sum A_i \cdot C_i}{\sum A_i}$$

Descrição: Ai = Área de cada tipo de superfície no local de estudo (m²); Ci = Coeficiente de escoamento superficial específico para cada tipo de superfície; $\sum(A_i \cdot C_i)$ = Somatório do produto entre as áreas individuais e seus respectivos coeficientes de escoamento; $\sum A_i$ = Somatório das áreas de todas as superfícies avaliadas (m²).

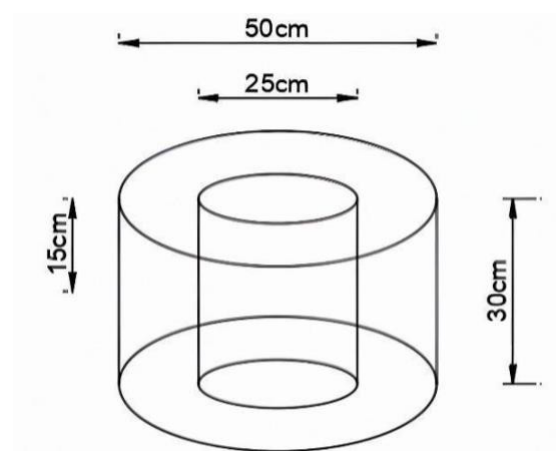
Obs.: No cálculo da intensidade da vazão de restrição, o tempo de duração (t) é considerado igual a “td”.

Fonte: Adaptado de Adasa (2023) e CETESB (1980).

ETAPA 2 - APLICAÇÃO DO MÉTODO ANÉIS DE INFILTRAÇÃO PARA IDENTIFICAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE (K) DO SOLO DA ÁREA DE ESTUDO.

Na segunda etapa, foram utilizados os resultados dos ensaios de infiltração com anéis concêntricos realizados por dados obtidos em estudo anterior dos autores (Pantoja Junior *et al.*, 2025). Sendo estes, também no Campus da UEPA, na mesma área em que foram dimensionados os poços de infiltração desta pesquisa. A Figura 3 ilustra as dimensões dos anéis utilizados na realização dos ensaios, cujos resultados são apresentados na Figura 6 deste estudo.

Figura 3 – Dimensões do anel de infiltração utilizado na pesquisa



Fonte: Pantoja Junior *et al.* (2025).

Os resultados obtidos nesses ensaios foram empregados para determinar o coeficiente de permeabilidade (k) do solo utilizado no dimensionamento dos poços de infiltração.

ETAPA 3 - DIMENSIONAMENTO DO POÇO DE INFILTRAÇÃO COM CAPACIDADE DE ABSORVER O VOLUME PRECIPITADO NA ÁREA DE ATUAÇÃO.

Como base para o cálculo, adotou-se o Manual de Drenagem Urbana do Distrito Federal (Adasa, 2023), utilizando-se os parâmetros previamente determinados, como a intensidade de precipitação (IDF) e a taxa de infiltração do solo (k). Considerou-se que toda a água precipitada sobre a área impermeabilizada seria direcionada ao poço de infiltração para fins de dimensionamento. O volume do poço e a área de infiltração foram calculados por meio da equação geral de dimensionamento de dispositivos de infiltração e da equação de área de infiltração, apresentadas nas: Equações 2 e 3 do Quadro 1.

O dimensionamento do poço de infiltração foi realizado de forma iterativa, mantendo-se fixa a profundidade do poço (H), definida com base no menor nível do lençol freático registrado no Poço de Monitoramento (PM) da Norte Energia (2024), localizado no Campus da UEPA. Adotou-se como área de contribuição apenas a superfície impermeabilizada da área de estudo, delimitada por meio de medições realizadas no Google Earth Pro adjunto do Qgis, considerando-se que toda a água precipitada sobre essa área seria direcionada ao dispositivo de infiltração para fins de dimensionamento. Essa escolha fundamenta-se no fato de que a precipitação incidente sobre as áreas permeáveis se infiltra naturalmente no solo, não

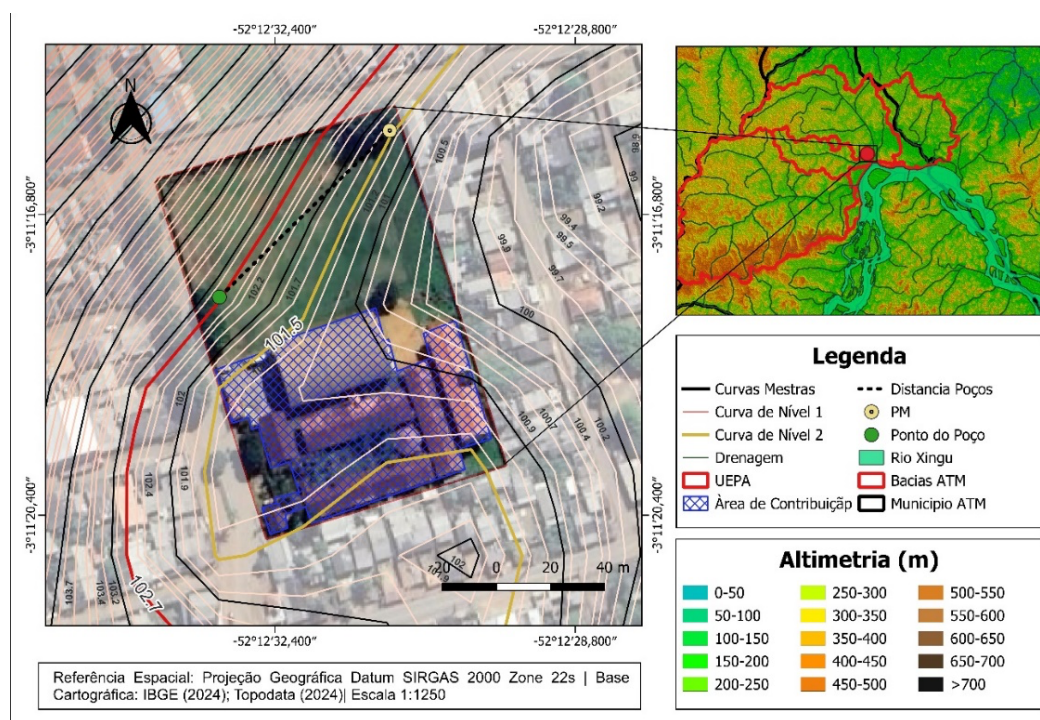
contribuindo de forma significativa para o escoamento superficial direcionado ao dispositivo. Além disso, definiu-se a implantação do poço próximo à Avenida Bom Jesus, em frente ao Campus da UEPA, de modo a facilitar a conexão da tubulação de extravasamento à rede pública de drenagem urbana. Durante o dimensionamento, adotou-se como critério a determinação de um diâmetro que proporcionasse volume de armazenamento suficiente para reter o volume de projeto. Para esse procedimento, desconsiderou-se a infiltração da água armazenada no interior do poço durante o evento de precipitação, assumindo-se, de forma conservadora, que todo o volume afluente permanecesse armazenado até o término da chuva.

Os resultados foram apresentados em gráficos que ilustram a evolução do volume de água gerado, infiltrado, retido e extravasado para um evento de precipitação com duração de 60 minutos, permitindo avaliar como o volume de infiltração variava ao longo do tempo. Além disso, essa mesma análise foi realizada considerando a construção variando-se o número de unidades de poços de infiltração. Com base nesses dados, foram realizadas simulações considerando diferentes números de poços de infiltração, a fim de avaliar o desempenho do sistema conforme os critérios de dimensionamento adotados. Para a tabulação, cálculo e tratamento dos dados obtidos após as etapas descritas acima, foi utilizado o software Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 2019).

3. RESULTADOS/ DISCUSSÕES

A área total do Campus da UEPA foi de 12.520 m², dos quais 4.357 m² correspondem à área impermeabilizada utilizada como área de contribuição para o dimensionamento do poço de infiltração. A partir dos registros do Poço de Monitoramento da Norte Energia (2024), localizado no Campus da UEPA, verificou-se que a menor profundidade do lençol freático observada entre outubro de 2022 e julho de 2024 foi de 3,06 m. A Figura 4 apresenta a localização do poço de monitoramento, do ponto selecionado para implantação do poço de infiltração e da área impermeabilizada considerada no estudo.

Figura 4 – Mapa do local de instalação do Poço de Infiltração, Curvas de Nível e Hipsometria

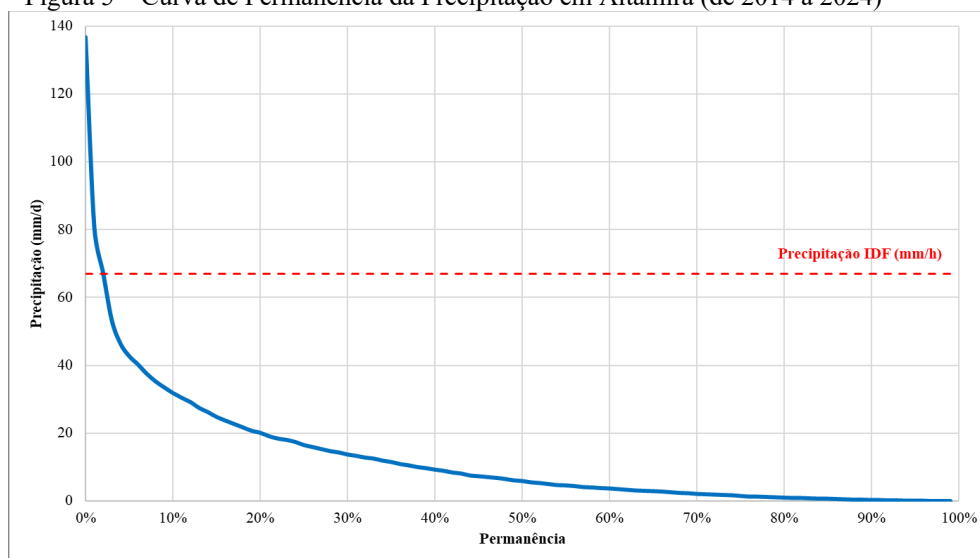


Fonte: Autores (2026).

Foi considerada no dimensionamento do poço de infiltração o nível do lençol freático do local de estudo, tendo como referência o PM. Como a distância do poço da Norte Energia para o poço de infiltração é pequena (89,6m), a profundidade do lençol freático do local de estudo foi considerada a mesma do PM. Assim, fazendo a diferença de declividade dos dois pontos através das curvas de nível, é possível identificar que tem um desnível de 1,2 m, indicando que o nível do lençol freático na área de estudo possui 4,3 m de profundidade. Ao descontar os 1 (um) metro que o poço precisa ter de distância do nível do lençol freático, foi definida a profundidade do poço de 3,3 m.

No cálculo da intensidade de precipitação pluviométrica, foi adotado um tempo de retorno de 5 anos, conforme recomendado pelo manual da CETESB (1980). Esse dado foi aplicado à equação de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) estabelecida por Souza *et al.* (2012) para o município de Altamira, utilizando-se a Equação 01 para determinar a intensidade de precipitação correspondente a um tempo de duração de 60 minutos, que resultou em 66,944 mm/h. Este valor foi utilizado nos cálculos deste estudo. Utilizando dados de precipitação diária no período de 29 de julho de 2014 a 29 de julho de 2024, foi elaborada a Figura 5 com a finalidade de demonstrar a amplitude da variação da precipitação em Altamira.

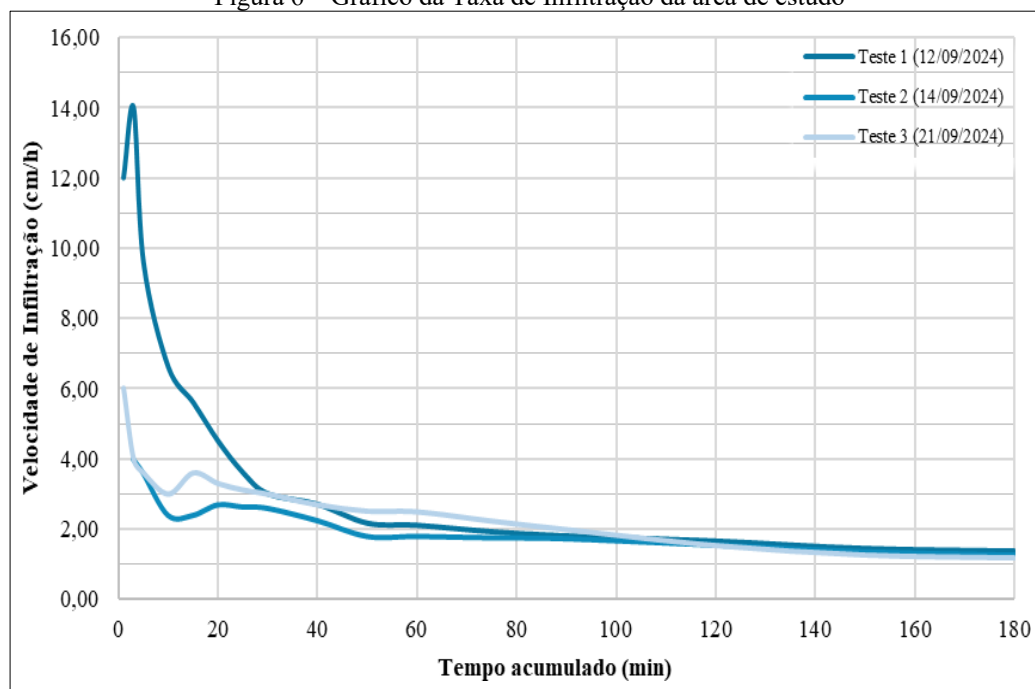
Figura 5 – Curva de Permanência da Precipitação em Altamira (de 2014 a 2024)



Fonte: Autores (2026).

Como resultado, foi identificado que o valor máximo de precipitação na série histórica de 10 anos foi de 136,7 mm/dia, e o que valor calculado pela equação IDF está dentro da faixa de precipitação registrada no município de Altamira. Vale observar que a precipitação calculada foi igualada ou superada em apenas cerca de 2% das precipitações, indicando que o poço de infiltração dimensionado nesta pesquisa terá capacidade de suportar a maior parte das precipitações que ocorrem na região (precipitações inferiores). Na avaliação da taxa de infiltração do solo na área de estudo, utilizando o método dos anéis concêntricos, no qual foram realizados três testes de infiltração ao longo de diferentes dias, sendo que todos eles forneceram resultados convergentes, foi obtido o valor da taxa de infiltração média de 1,28 cm/h na área de estudo (Pantoja Junior *et al.*, 2025). Os comportamentos dos três ensaios de infiltração são apresentados na Figura 6.

Figura 6 – Gráfico da Taxa de Infiltração da área de estudo



Fonte: Adaptado de Pantoja Junior *et al.* (2025).

No dimensionamento do poço de infiltração (V), foi estabelecido que ele teria como profundidade máxima 3,3 m, levando em conta o nível do lençol freático do terreno, e um diâmetro de 4,4 m inicialmente, tendo em vista que é um diâmetro suficiente para que o poço (V) tenha capacidade de armazenar o volume de água total da chuva no terreno. Para maximizar a capacidade de infiltração, adotou-se uma porosidade de 35% no material granular utilizado (Adasa, 2023), que favorece o escoamento da água pela estrutura do poço.

Com base na Equação 3, foi calculada a área de infiltração do poço, considerando suas dimensões: 4,4 metros de diâmetro e 3,3 metros de altura. O cálculo resultou em uma área de infiltração de 38,013 m². Utilizando a Equação 7, foi calculado o coeficiente de escoamento superficial que resultou em um valor de C igual a 0,652. Esse valor foi obtido considerando três áreas com diferentes tipos de superfície e respectivos coeficientes de escoamento superficial (C). Para a área de concreto, com 435 m², utilizou-se o coeficiente C igual a 0,8. Já para a área de telhado, de 3.197 m², aplicou-se C igual a 0,75. Por fim, considerou-se uma área plana de 725 m², utilizando-se C igual a 0,13. Esses coeficientes de deflúvio foram utilizados com base no Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem (Brasil, 2005).

Para a vazão de restrição, foi adotado um período de retorno de 10 anos e um tempo de detenção de 3,13 minutos. Visto que, segundo a Adasa (2023), o tempo de duração é calculado pela vazão de restrição (Equação 06), em que a dimensão do comprimento da área de contribuição foi de 75 m (considerando que a área de contribuição era toda a área da UEPA que mede 1,25 ha) e a velocidade do escoamento superficial adotado foi de 0,4 m/s (Adasa, 2023), resultando no tempo de duração de 3,13 minutos e na Intensidade de 246,02 mm/h.

Dessa forma, foi calculada a vazão específica (Equação 04), resultando em 128,24 l/s, levando em consideração o coeficiente de deflúvio de 0,15 (Adasa, 2023), Intensidade de 246,02 mm/h e Área de Contribuição de 1,25 ha. Posteriormente, utilizando a Equação 05, calculou-se a Vazão de restrição em 102,59 L/s.ha.

O tempo de duração adotado foi o mesmo utilizado no cálculo da Intensidade (I) para 60 minutos. Dessa forma, o dimensionamento do volume do poço de infiltração, por meio da Equação 02, foi realizado utilizando essa duração de chuva e considerando que o volume do poço (V_p) devesse ser igual ou maior que o volume de chuva.

A capacidade total de cada poço foi estimada em aproximadamente 50,18 m³. A Tabela 1 apresenta o desempenho dos poços de infiltração considerando a operação de diferentes números de poços, variando desde a infiltração em um único poço até a quantidade necessária para reter todo o volume de água da chuva

Tabela 1 – Volumes de chuva, infiltração, retido e extravasado em uma chuva de 60 min

Nº de Poços	Volume gerado de Chuva (m ³)	Volume Infiltrado (m ³)	Volume Retido (m ³)	Volume Extravasado (m ³)
1	303,91	0,70	50,18	253,04
2	303,91	1,39	100,36	202,16
3	303,91	2,09	150,54	151,29
4	303,91	2,78	200,72	100,41
5	303,91	3,48	250,90	49,54
6	303,91	4,17	299,75	0,00

Fonte: Autores (2026).

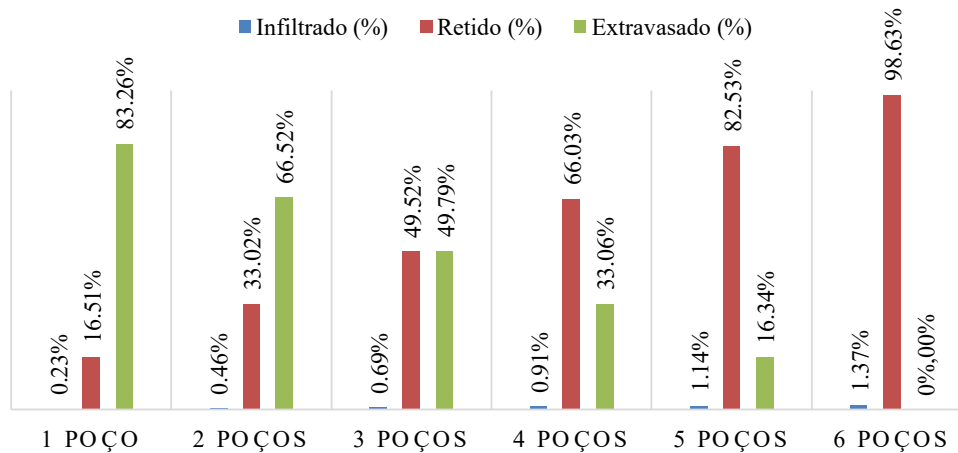
Para armazenar e infiltrar o volume total de chuva calculado (303,91 m³), foram necessários seis poços de infiltração, com volume total de armazenamento de 301,08 m³ e capacidade conjunta de infiltração de 4,17 m³/h, resultando em um volume retido de 299,75 m³. Esses resultados indicam que, para o evento de precipitação com duração de 60 minutos adotado neste estudo, a implantação de seis poços de infiltração é suficiente para reter praticamente todo o volume de projeto, sem ocorrência de extravasamento. Nas simulações considerando de um a cinco poços, os volumes retidos corresponderam à capacidade máxima de armazenamento dos dispositivos, evidenciando que essa configuração não seria suficiente para atender ao volume de precipitação considerado. Apenas a configuração com seis poços apresentou capacidade de armazenamento compatível com o volume gerado, eliminando o extravasamento.

Os resultados obtidos corroboram o comportamento esperado para dispositivos de infiltração, segundo Baptista, Nascimento *et al.* (2005), esses dispositivos promovem o controle do escoamento superficial na fonte, reduzindo os picos de vazão e favorecendo a infiltração das águas pluviais, contribuindo para a recuperação parcial do comportamento hidrológico natural das áreas urbanizadas. De forma semelhante, Fletcher *et al.* (2015) destacam que sistemas de drenagem urbana sustentável (Sustainable Drainage Systems – SuDS) constituem uma das principais estratégias para mitigar os impactos decorrentes da impermeabilização do solo, reduzindo volumes escoados, atenuando picos de vazão e promovendo a recarga do aquífero.

Embora o número de poços necessário e os volumes armazenados obtidos neste estudo sejam específicos para a área analisada, essas diferenças são esperadas, pois o desempenho desses dispositivos depende diretamente das características locais de precipitação, área impermeabilizada, coeficiente de escoamento superficial, propriedades geotécnicas do solo e nível do lençol freático. Assim como outras soluções baseadas na infiltração, os poços de infiltração foram dimensionados considerando as condições hidrológicas e geológicas específicas do local, uma vez que não existe uma configuração universal aplicável a todos os cenários urbanos (Eckart; McPhee; Bolisetti, 2017).

A Figura 7 sintetiza o desempenho das diferentes configurações simuladas, apresentando, em termos percentuais, os volumes de água retidos, infiltrados e extravasados em função do volume total precipitado. Observa-se que, à medida que o número de poços aumenta, ocorre redução progressiva do volume extravasado e aumento da parcela de água retida pelo sistema, sendo a configuração com seis poços a única capaz de eliminar completamente o extravasamento para o evento de projeto considerado.

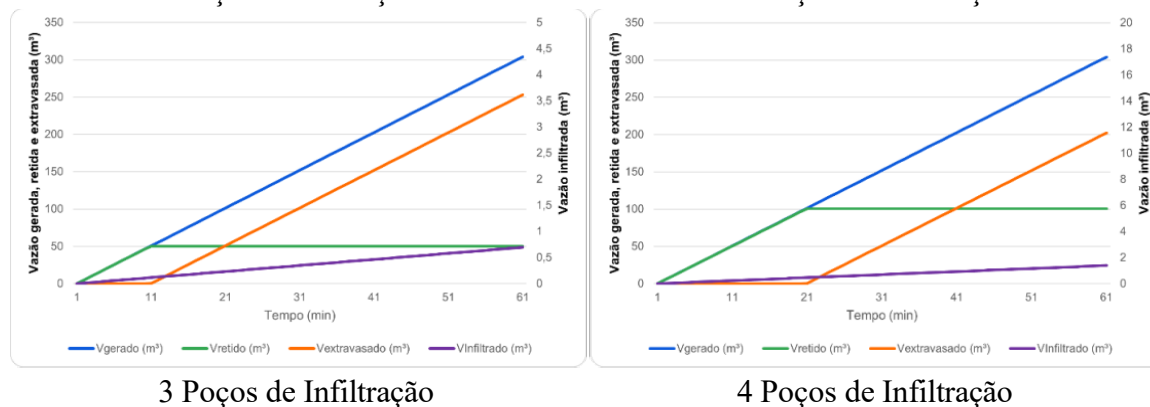
Figura 7 – Percentual de volume infiltrado, retido e extravasado nos poços

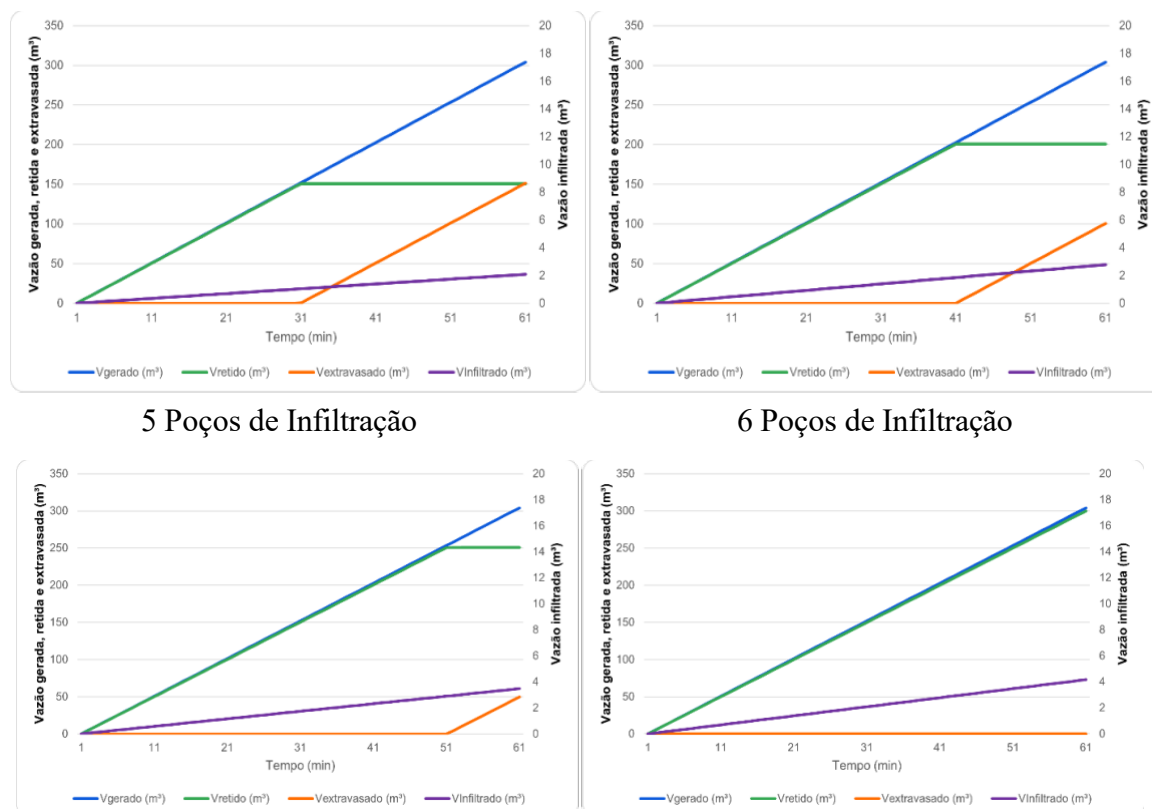


Fonte: Autores (2026).

Com base nos resultados apresentados da simulação, é evidente a influência do número de poços na capacidade de manejar o volume gerado de 303,91 m³ em termos de infiltração, retenção e extravasamento. Na Figura 8 são apresentados, graficamente, os desempenhos operacionais das combinações de diferentes números de poços em termo de armazenamento, extravasamento e infiltração da água da chuva.

Figura 8 – Percentual de volume infiltrado, retido e extravasado nos poços
1 Poço de Infiltração 2 Poços de Infiltração





Fonte: Autores (2026).

As simulações com 1, 2, 3, 4 e 5 poços tiveram o extravasamento ocorrendo nos minutos 11 min, 21 min, 31 min, 41 min e 51 min respectivamente. O único que não teve necessidade de mandar parcela da água para o sistema de drenagem pública (sem extravasamento) foi o arranjo com 6 poços. Além disso, já que o maior número de poços aumenta a área de infiltração, o volume de água infiltrado também cresceu proporcionalmente ao número de poços.

Os gráficos evidenciam uma relação clara entre o aumento no número de poços e a eficiência no manejo dos volumes de chuva. Com mais poços, o sistema adquire maior capacidade de reter e infiltrar a água gerada pela precipitação, reduzindo significativamente o extravasamento. Essa dinâmica reflete tanto a escalabilidade do sistema, que permite ajustar o número de poços para diferentes volumes de água de chuva, que varia em função da intensidade de chuva, das dimensões da área de contribuição e de seu grau de impermeabilidade. No caso, para a área da UEPA, Campus IX/Altamira, são necessários seis poços de infiltração com as dimensões descritas neste trabalho para suportar todo o volume de chuva precipitado durante uma hora. Além disso, o volume retido durante um evento de chuva infiltrará no solo ao longo do tempo. O período em que essa água da chuva levará para infiltrar totalmente é função direta da taxa de infiltração do solo e da área de infiltração.

Considerando a taxa de infiltração do solo da área de estudo (1,28 cm/h) e o volume total de um poço (50,18 m³), o tempo necessário para o esvaziamento completo do poço por meio da infiltração da água no solo é de 72 horas e 11 minutos, ou seja, no caso de ocorrer chuvas com a intensidade elevadas em espaços de tempo menores do que esse período, os poços não terão a sua capacidade máxima disponível para reter o volume precipitado, já que parcela de seu volume ainda estará preenchido com o remanescente da chuva anterior. Neste caso, existe a possibilidade de ocorrer extravasamento de parcela da água da chuva, mesmo que a precipitação seja menor ou igual à prevista no projeto. Ainda assim, a presença do poço

de infiltração resultaria na redução do volume de água direcionado para o sistema de drenagem urbana, diminuindo as eventuais sobrecargas a esses sistemas e a ocorrência de alagamentos e inundações.

A necessidade de múltiplos poços de infiltração para atender ao volume total de precipitação na área da UEPA justifica-se, principalmente, pelo tamanho da área impermeabilizada (4.357 m²), que resulta em volume significativo de água de chuva em um evento de precipitação de 60 minutos (303,91 m³). Em estudos similares, como os realizados por Ferreira *et al.* (2016) e Jungbeck (2023), também foi observada a implementação de sistemas de múltiplos poços em áreas urbanas extensas, dado que o uso de um único poço não seria suficiente para infiltrar o volume precipitado. Sendo que, em áreas amplas e urbanizadas, a capacidade de um poço isolado é frequentemente insuficiente para suportar a carga hídrica, exigindo a criação de um sistema de poços distribuídos para otimizar a infiltração (Ferreira *et al.*, 2016; Adasa, 2023).

Embora o sistema dimensionado tenha apresentado capacidade para atender ao evento de projeto adotado, seu desempenho pode ser reduzido em situações de eventos consecutivos de precipitação, uma vez que a capacidade de infiltração do solo depende da recuperação da umidade antecedente. Em regiões amazônicas, caracterizadas pela elevada frequência de chuvas, essa condição pode limitar temporariamente a eficiência dos poços de infiltração, sobretudo quando o intervalo entre eventos não é suficiente para o rebaixamento da umidade do solo. Assim, recomenda-se que estudos futuros incorporem simulações hidrológicas contínuas e diferentes cenários pluviométricos, permitindo avaliar o comportamento desses dispositivos sob condições sucessivas de precipitação.

4. CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que a implantação de poços de infiltração no campus da UEPA em Altamira constitui solução tecnicamente fundamentada para o manejo descentralizado das águas pluviais provenientes de superfícies impermeabilizadas, em que o dimensionamento adotado, sustentado por equação IDF específica do município, por coeficiente de escoamento ponderado e por taxa de infiltração da área de estudo, permitiu estabelecer configuração capaz de absorver o volume crítico de projeto sem ocorrência de extravasamento, quando considerados seis dispositivos operando de forma integrada. Sendo que a análise comparativa entre diferentes cenários evidenciou que sistemas subdimensionados apresentam extravasamento progressivamente retardado, mas inevitável para o evento crítico considerado. Adicionalmente, a estimativa do tempo de esvaziamento completo dos poços indicou que a eficiência do sistema pode ser influenciada por eventos pluviométricos consecutivos com intervalos inferiores ao período necessário para infiltração total do volume armazenado.

Do ponto de vista técnico-ambiental, os resultados corroboram a aplicabilidade de medidas compensatórias baseadas em infiltração como instrumento de redução de picos de vazão, diminuição da transferência de impactos a jusante e potencial contribuição à recarga hídrica local. A adoção de soluções descentralizadas dessa natureza representa estratégia coerente com abordagens contemporâneas de drenagem urbana sustentável, especialmente em municípios amazônicos submetidos a rápida urbanização e limitações estruturais nos sistemas convencionais de macrodrenagem. Assim, embora o sistema atenda satisfatoriamente ao cenário de projeto adotado, sua performance em condições de eventos extremos sucessivos deve ser considerada em análises complementares.

5. REFERÊNCIAS

ABGE. Associação Brasileira de Geologia e Engenharia Ambiental. Investigações geológico-geotécnicas: Ensaio de permeabilidade em solos, orientações para a sua

execução no campo. 4.ed. São Paulo. **Geotecnicas-BOOK.indb**, 2021.

ADASA. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal. 2. ed. Brasília, DF: Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal - ADASA: UNESCO, 2023.** Disponível em: <https://www.adasa.df.gov.br/regulacao-sdu/manual-de-drenagem-e-manejo-de-aguas-urbanas-sdu>. Acesso em: 26 fev. 2026.

ALTAMIRA (Município). **Base cartográfica vetorial do município de Altamira-PA.** Altamira: Prefeitura Municipal de Altamira, 2024. Disponível em: <https://altamira.pa.gov.br/portal-da-transparencia/dados-abertos/>. Acesso em: 12 jan. 2026.

ALTAMIRA. **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico de Altamira/PA – PMISB: abastecimento de água e esgotamento sanitário de resíduos sólidos urbanos.** Núcleo de Planejamento e Desenvolvimento. Altamira, 321 p. 2022. Disponível em: <https://altamira.pa.gov.br/wp-content/uploads/2023/03/PMISB-APROVADO.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2026.

BAPTISTA, M. *et al*. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana.** Porto Alegre: ABRH, 266 p. 2005.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem.** 2ª ed. Rio de Janeiro, 2005. (IPR. Publ., 715).

CALVARIO, A. C.; SANTOS, A. A. M. **Sistemas compensatórios de drenagem urbana: estudo sobre a aplicabilidade de poços de infiltração.** 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/1647>. Acesso em: 17 jan. 2026.

CARVALHO, L. R. *et al*. **Metodologia científica: teoria e aplicação na educação a distância.** Petrolina: Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2019.

DAEE/CETESB. **Drenagem Urbana, Manual de Projeto, Departamento de Águas e Energia Elétrica e Companhia de Tecnologia de Saneamento.** São Paulo, 1980.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. **rev. e ampl.** Brasília, DF: Embrapa, 2018.

FERREIRA, M. H. *et al*. **Avaliação do comportamento hidrológico de poços de infiltração de águas pluviais sob diferentes concepções.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

ECKART, K.; MCPHEE, Z.; BOLISSETTI, T. Performance and implementation of low impact development – A review. **Science of the Total Environment**, v. 607–608, p. 413–432, 2017.

FLETCHER, T. D. . SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 7, p. 525–

542, 2015.

GOMES, T. A. *et al*. **Estudo do coeficiente de permeabilidade em ensaios de poço pelo padrão ABGE: complexo alcalino carbonático do barreiro (cachb), Araxá-MG**. In: Anais do XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2017, Campinas. Anais eletrônicos [...] Campinas, 2017. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28762> Acesso em: 03 dez. 2025.

HOCHSTETLER, K. Climate institutions in Brazil: three decades of building and dismantling climate capacity. **Environmental Politics**, [S.l.], v. 30, supl. 1, p. 49-70, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/09644016.2021.1957614>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha territorial brasileira 2023**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: Acesso em: 12 dez. 2025.

IDALGO, A. N. *et al*. Determinação do coeficiente de permeabilidade de elementos drenantes de concreto. **Revista Eletrônica Organizações e Sociedade**, Iturama (MG), v. 7, n. 8, p. 4-13, 2018. Disponível em: <https://revista.facfama.edu.br/index.php/ROS/article/view/388>. Acesso em: 14 jan. 2026.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. TOPODATA: Banco de dados geomorfométricos do Brasil. São José dos Campos: INPE, 2024. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata>. Acesso em: 13 mar. 2026.

JUNGBECK, C. *et al*. **Proposta de dimensionamento de poço de infiltração para a cidade de Dourados/MS como medida sustentável para controle de drenagem urbana na fonte**. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/5573/1/CamilaJungbeck.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2026.

MARTINS, L. G. B. **Avaliação do potencial de aplicação de técnicas compensatórias em áreas urbanas consolidadas**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-16042018-103719/publico/TESE_LEANDRO_GUIMARAES_BAIS_MARTINS_Versao Corrigida.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-16042018-103719/publico/TESE_LEANDRO_GUIMARAES_BAIS_MARTINS_Versao_Corrigida.pdf). Acesso em: 17 dez. 2025.

MENDES, A. T.; SANTOS, G. R. **Drenagem e manejo sustentável de águas pluviais urbanas: o que falta para o Brasil adotar?**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2022. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/11420>. Acesso em: 03 fev. 2026.

NORTE ENERGIA. **Banco de dados de poços de monitoramento- Planilha eletrônica**. Altamira. 2026.

NOVAIS, G. T.; MACHADO, L. A. Os climas do Brasil: segundo a classificação climática de Novais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, n. 19, p. 1–39, 2023. DOI: 10.55761/abclima.v32i19.16163. Disponível em:

<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/16163>.

NUNES, J. A. *et al*. Velocidade de infiltração pelo método do infiltrômetro de anéis concêntricos em latossolo vermelho de Cerrado. **Enciclopedia Biosfera**, v. 8, n. 15, 2012. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3735>. Acesso em: 11 mai. 2024.

OLIVEIRA, D. G. Estudo geoambiental da microrregião hidrográfica de Altamira/PA. 2021129 f. **Dissertação (Mestrado) – Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia**, Universidade Federal do Pará, Altamira, 2021.

PANTOJA JUNIOR, M. V., Da Cunha, M. M., Ferreira, J. F. H., & Cavalcante, J. da C. Determinação da Taxa de Infiltração do Solo no Campus da UEPA, Altamira-PA. **Revista De Educação, Saúde E Ciências Do Xingu**, 1(8). 2025. Recuperado de <https://periodicos.uepa.br/index.php/rescx/article/view/10828>. Acesso em 25 fev. 2026.

PARÁ (Estado). **Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS). Bases de dados geoespaciais ambientais do Estado do Pará**. Belém: SEMAS, 2024. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/analise/car/geoprocessamento.php>. Acesso em: 12 jan. 2026.

RODRIGUES, M. M. B.; CAVALCANTE, M. M. A. Longe do rio, longe da cidade: UHE Belo Monte, deslocamentos compulsórios e segregação em Altamira (PA). **Revista Ciência Geográfica**, v. 26, n. 01, p. 497-522, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.18817/26755122.26.01.2022.2903>. Acesso em: 19 dez. 2025.

SANTOS, J. A. *et al*. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande-PB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, p. 943-952, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/yMBFbMh7WdYMfw9H9KH9bhn/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 15 jan. 2026.

SOUZA, R. O. R. *et al*. Equações de chuvas intensas para o estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 999-1005, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/S5YrxRjKF6T6n9Bh3bmXXcr/>. Acesso em: 23 abr. 2024.

SPONCHIADO, É. L. **Poço de infiltração e pavimento permeável como técnica compensatória de drenagem urbana de controle na fonte**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/5413>. Acesso em 11 jan\ 2025.

TUCCI, C. E. M. **Elementos para o controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. Disponível em: <https://professor.ufrgs.br/joel-goldenfum/files/elementos.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2026.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Textos para Discussão - CEPAL/IPEA,

2012. Disponível em: <https://hdl.handle.net/11362/38004>. Acesso em 14 fev. 2026.

WILLS, W.; MOREIRA, M.; OBERMAIER, M.; LEFÈVRE, J.; ELY, R. Food Production and Amazon Preservation are Not Mutually Exclusive: Exploring Feasible Avenues from the Perspective of Land Use Related NDCs in Brazil. **WSEAS Transactions on Business and Economics**, v. 20, p. 492–504, 2023. DOI: 10.37394/23207.2023.20.45.

ZOPONE, M. *et al*. Estudo de medidas estruturais e não estruturais para a melhoria das condições de drenagem de bacias urbanas degradadas. **Engenharia Civil - TCC – EE Higienópolis**. 2019. Disponível em: <https://dspace.mackenzie.br/items/b615ef7a-e13c-43fd-a3b7-eba031692705/full>. Acesso em: 14 fev. 2026.

NOTAS

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Concepção e elaboração do manuscrito: M. V. Junior, M. M. Cunha

Coleta de dados: M. V. Junior, M. M. Cunha, J. F. Ferreira

Análise de dados: M. V. Junior, M. M. Cunha, J. F. Ferreira, J. C. Cavalcante

Discussão dos resultados: M. V. Junior, M. M. Cunha, J. F. Ferreira, J. C. Cavalcante

Revisão e aprovação: M. V. Junior, M. M. Cunha, J. F. Ferreira, J. C. Cavalcante

PREPRINTS

O manuscrito não é um preprint.

USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Foi utilizada Inteligência Artificial (Gemini) para fazer a análise de erros ortográficos, organização das referências bibliográficas e ajuda na tradução do resumo para o inglês.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

DISPONIBILIDADE DE DADOS DE PESQUISA E OUTROS MATERIAIS

Os dados foram publicados no próprio artigo. Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo está incluído no corpo do artigo.

ANUÊNCIA DE AVALIAÇÃO ABERTA

Não.



O conteúdo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuição deste trabalho deve manter a atribuição ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citação da revista e DOI.