



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
ENGENHARIA CIVIL – FAEN

CAMILA JUNGBECK

**Proposta de Dimensionamento de Poço de Infiltração para a
Cidade de Dourados/MS como Medida Sustentável para
Controle de Drenagem Urbana na Fonte**

Dourados - MS

2023

CAMILA JUNGBECK

**Proposta de Dimensionamento de Poço de Infiltração para a
Cidade de Dourados/MS como Medida Sustentável para
Controle de Drenagem Urbana na Fonte**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora da Universidade Federal da Grande Dourados, como pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Profº Leonardo da Rosa Walz com área de concentração 3.01.00.00-3 – Engenharia Civil.

Dourados - MS

2023



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO H – ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 15:00 horas do dia 20 de abril de 2023, realizou-se no Laboratório 01 – FAEN (Video-conf. e Proc. de Imagens) a defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, intitulado “PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO DE POÇO DE INFILTRAÇÃO PARA A CIDADE DE DOURADOS/MS COMO MEDIDA SUSTENTÁVEL PARA CONTROLE DE DRENAGEM URBANA NA FONTE” de autoria da discente CAMILA JUNGBECK, como requisito para a aprovação no componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso II.

Após a defesa e posterior arguição, a banca examinadora concluiu que o Trabalho apresentado deve ser:

- Aprovado
 Reprovado

A discente declara ciência de que a sua aprovação está condicionada à entrega da versão final (encadernada, corrigida e assinada) do Trabalho de Conclusão de Curso, nos termos em que especifica o regulamento do componente curricular, em anexo ao Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Civil da UFGD. O orientador se responsabilizará pela verificação e aprovação das correções do manuscrito feitas pela discente para a elaboração da versão final.

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

DISCENTE

Nome: CAMILA JUNGBECK Assinatura:

BANCA EXAMINADORA

Orientador: LEONARDO DA ROSA WALZ Assinatura:

Membro: ANDRÉ FELIPE APARECIDO DE MELLO Assinatura:

Membro: ERIVALDO PEREIRA NUNES Assinatura:

PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO DE POÇO DE INFILTRAÇÃO PARA A CIDADE DE DOURADOS/MS COMO MEDIDA SUSTENTÁVEL PARA CONTROLE DE DRENAGEM URBANA NA FONTE

JUNGBECK, Camila¹; WALZ, Leonardo da Rosa²
camila.jungbeck103@academico.ufgd.com.br¹; leonardowalz@ufgd.com.br²;

RESUMO

As técnicas compensatórias de microdrenagem são práticas de engenharia utilizadas para minimizar os impactos negativos da urbanização no ciclo hidrológico. A urbanização geralmente implica em um aumento na impermeabilização do solo e, conseqüentemente, na diminuição da infiltração da água. Diante da crescente demanda por alternativas sustentáveis para conter os problemas ocasionados pela drenagem urbana convencional e da possibilidade legal de se realizar sistemas de microdrenagem no município de Dourados, este trabalho se dedicou a abordar o método de dimensionamento de um poço de infiltração com o objetivo de orientar a aplicação deste método de controle na fonte. A metodologia proposta baseou-se na aplicação do método da curva envelope para determinar através da relação IDF a máxima diferença entre o volume de precipitação e o volume infiltrado resultando no volume de dimensionamento. Os cálculos resultaram em um poço com uma capacidade de armazenamento de 12,27 m³ atendendo ao volume de precipitação máxima de 11,64 m³, cumprindo com os requisitos de desempenho do sistema.

Palavras-chave: drenagem urbana; técnicas sustentáveis; poços de infiltração.

ABSTRACT

Compensatory microdrainage techniques are engineering practices used to minimize the negative impacts of urbanization on the hydrological cycle. Urbanization generally implies an increase in soil sealing and, consequently, a decrease in water infiltration. Faced with the growing demand for sustainable alternatives to contain the problems caused by conventional urban drainage and the legal possibility of carrying out microdrainage systems in the municipality of Dourados, this paper was dedicated to addressing the method of dimensioning an infiltration well with the objective of guide the application of this source control method. The proposed methodology was based on the application of the "curva envelope" method to determine, through the IDF relation, the maximum difference between the precipitation volume and the infiltrated volume resulting in the dimensioning volume. The calculations resulted in a well with a storage capacity of 12.27 m³ meeting the maximum precipitation volume of 11.64 m³, meeting the system performance requirements.

Keywords: urban drainage; sustainable techniques; infiltration wells.

1 INTRODUÇÃO

O município de Dourados/MS deu início ao processo de desenvolvimento econômico e populacional nos anos 1940 com a criação da Colônia Agrícola Nacional de Dourados (CAND), onde desde essa época Dourados se mantém como o segundo município mais populoso do estado de Mato Grosso do Sul. De acordo com estimativas do (IBGE) – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021) a população de Dourados alcançou 227.990 habitantes em 2021, crescendo em mais de 31.000 mil habitantes se comparado ao censo de 2010. Além disso, nos últimos anos, o cenário urbano douradense vem se modificando, como visto na ampliação do perímetro urbano de 77,28 km² para 210,83 km², realizada em 2011 (CAMPOS, 2014), agregando também ao crescimento da oferta imobiliária, resultante da implantação de diversos loteamentos e condomínios horizontais, exigindo atenção para a ampliação da capacidade de abrangência das infraestruturas municipais (DA SILVA; DA SILVA, 2017).

O crescimento populacional e a urbanização levam a alta na demanda por infraestrutura, impactando diretamente no escoamento superficial e na qualidade da água. Canalização de rios e córregos, impermeabilização do solo e aprisionamento do lençol freático, são exemplos da urbanização atual utilizando o modelo de drenagem urbana convencional, que são localizadas e focadas na coleta e no afastamento imediato de águas pluviais através da canalização extensiva, o que acaba provocando apenas alteração da fonte do problema, sem de fato solucionar a questão das águas urbanas em si (TUCCI, 2012).

Neste contexto, um dos instrumentos que tem papel fundamental no planejamento urbano é o Plano Diretor, nele contém todas as diretrizes de promoção da política de desenvolvimento urbano, com a finalidade de orientar e direcionar a ocupação do território municipal, para que esta ocorra de forma ordenada (SABINO, 2014). Em Dourados, o Plano Diretor é instituído pela Lei Complementar nº 72 de 2003 (DOURADOS, 2003), o qual encontra-se em revisão até a presente data deste estudo, buscando se adequar às demandas contemporâneas (DOURADOS, 2022).

Além do Plano Diretor Municipal, outro dispositivo estabelecido para organizar a ocupação do espaço territorial, em atendimento a este documento, é a Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS), nela são tratadas todas as regras territoriais referentes a qualquer intervenção urbanística e instalações de atividades econômicas, serviços, atividades públicas e particulares dentro do perímetro da cidade, sendo a Lei Complementar

nº 205, de 19 de outubro de 2012, responsável por regular o zoneamento do uso do solo em Dourados (DOURADOS, 2012).

Sendo assim, um dos temas abordados na LUOS se refere a Taxa de Permeabilização do Solo, que está diretamente ligada com a questão da drenagem urbana da cidade, pois refere-se ao “percentual de área de solo natural do imóvel descoberta e propícia à percolação de água no solo” (DOURADOS, 2012, p. 95), ou seja, em outras palavras trata-se de áreas permeáveis, onde possa ocorrer a infiltração de águas pluviais dentro dos terrenos. Deste modo, é definido para cada área urbana da cidade um parâmetro de área permeável que deve ser respeitado para estar de acordo com a LUOS. Porém, este parâmetro que é dado em percentual, pode ser menor do que o estipulado em Lei, desde que seja assegurado a percolação de água no solo por meio da implantação de sumidouros, os quais garantam a veiculação de água pluvial para o lençol freático, compensando esta discordância (DOURADOS, 2012).

Tendo em vista a possibilidade legal de se realizar sistemas de microdrenagem urbana, aliados a falta de um documento técnico na lei de uso do solo que defina as diretrizes de dimensionamento, o objetivo deste trabalho foi orientar o dimensionamento de um poço de infiltração aplicável em residências, partindo da relação de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) das precipitações de Dourados/MS. Neste sentido, são propostas relações matemáticas que permitem estimar a capacidade preliminar dos dispositivos de armazenamento temporário, permitindo o controle de cheias urbanas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Efeitos da Urbanização na Drenagem Pluvial

Com o aumento da concentração populacional em áreas urbanas ocorrem mudanças significativas nas características do ambiente ocupado, visto que o homem busca alterar o meio em que vive da forma que melhor se ajuste às suas necessidades de desenvolvimento. A aceleração do processo de urbanização, acontece na maior parte dos casos de forma não planejada, o que causa impactos nas cidades e problemas de infraestrutura urbana.

O desequilíbrio no balanço hídrico pode ser considerado como um dos principais efeitos gerados nas regiões ocupadas. A diminuição do volume de água infiltrada no solo

em uma área urbanizada é significativa se comparada às condições originais das regiões com grande urbanização. Mudanças no hidrograma são observadas pelo acréscimo nos picos de vazões, com o aumento do volume em um curto espaço de tempo. Como resultado, tem-se as enxurradas e cheias urbanas (CARVALHO, 2008).

De acordo com Tucci (2012), o aumento da impermeabilização do solo e a aceleração do escoamento por meio de condutos e canais, aumenta a quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem, produzindo inundações, que são mais frequentes do que quando as superfícies eram permeáveis. Dessa forma, a urbanização implica, forçosamente, em alterações significativas no meio ambiente, de forma geral, e nos processos hidrológicos, em particular, através da ação direta nos cursos d'água e nas superfícies das bacias hidrográficas (Baptista *et al.* 2005).

2.2 Técnicas Convencionais de Drenagem e suas Limitações

Em grande parte das cidades são utilizadas principalmente as técnicas convencionais de drenagem urbana, que consistem na execução de galerias pluviais para a coleta e transporte do excesso de escoamento superficial para pontos a jusante das áreas urbanas. Apesar de já utilizadas há bastante tempo, essas soluções foram criadas para o uso em cenários muito diferentes dos encontrados atualmente nas cidades.

De acordo com Carvalho (2008) essas medidas estão de acordo com os conceitos higienistas do século XIX, onde a drenagem era vista como a solução clássica para remover de forma mais rápida e eficiente possível a água dos centros urbanos. No entanto, essas medidas não são definitivas ou sustentáveis, pois com o crescimento das cidades, requerem ampliações conforme o desenvolvimento urbano avança, sendo necessário que sejam redimensionados de tempos em tempos. Além do mais, a solução resolve o problema da cheia em uma área, porém o transfere para jusante, exigindo assim, o redimensionamento da rede de drenagem de jusante e resultando em custos cada vez mais elevados devido às dimensões das novas estruturas (SOUZA, apud CARVALHO, 2008).

Da mesma forma é preciso destacar que fatores como a impermeabilização de grandes áreas urbanas ocasionadas pela ocupação desordenada, pontos de rede de drenagem subdimensionados e o mau funcionamento destas galerias em função de entupimentos provocados pelo lixo não coletado ou disposto incorretamente, são problemas que agravam ainda mais os impactos gerados pela urbanização.

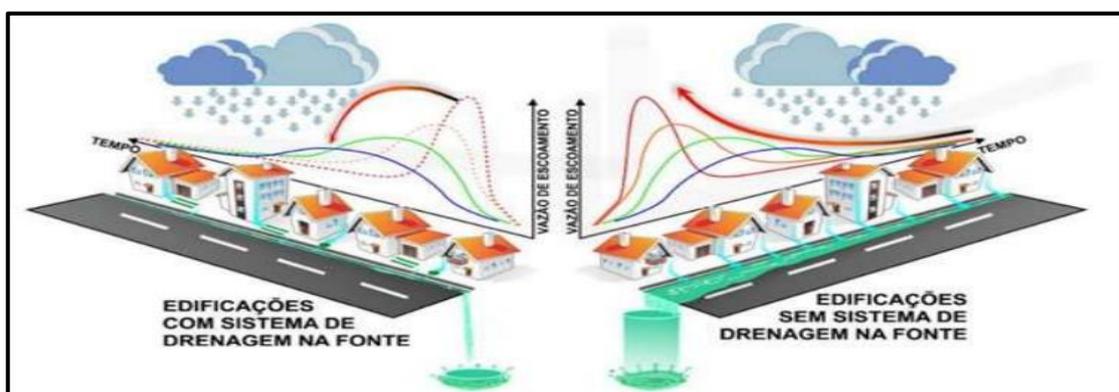
2.3 Técnicas Compensatórias de Drenagem

Os sistemas de drenagem compensatório são soluções sustentáveis no manejo de águas da chuva, que visam compensar os efeitos da urbanização com o uso de técnicas que objetivam o controle do escoamento produzido pelas áreas impermeabilizadas e a redução da vazão encaminhada aos sistemas de drenagem tradicional, promovendo menor impacto ambiental, social e econômico (REIS, 2018).

Reis (2018), afirma que este sistema de drenagem segue a tendência ambientalista, com foco na manutenção das condições de equilíbrio do balanço hídrico que existia no período anterior à ocupação da área urbana, de forma a restabelecer a capacidade natural de infiltração do terreno amortecendo a vazão acrescida sobre o hidrograma local.

Dessa forma, para diminuir o rápido escoamento superficial que causa transtornos nos ambientes urbanos, são utilizados dispositivos que permitem o escoamento de águas pluviais de maneira natural, na fonte, os quais simulam dentro das limitações de um sistema criado, as condições que se perderam com a impermeabilização das superfícies e com isso pode-se aumentar a capacidade de infiltração de água no solo (SANTOS; CALVARIO, 2021). A Figura 1 mostra o comparativo entre residências com sistema de drenagem na fonte e residências que utilizam somente o sistema de drenagem convencional, onde é possível notar que no sistema tradicional – ilustração a direita da Figura 1 – o escoamento não consegue ser absorvido, resultando em um maior volume de escoamento. Em contrapartida as águas pluviais retidas pelos sistemas auxiliares – ilustração a esquerda da Figura 1 – levam um maior tempo para escoar, diminuindo assim o volume de escoamento gerado, o que resulta no amortecimento do pico de vazões.

Figura 1 – Comparativo entre sistemas de drenagem



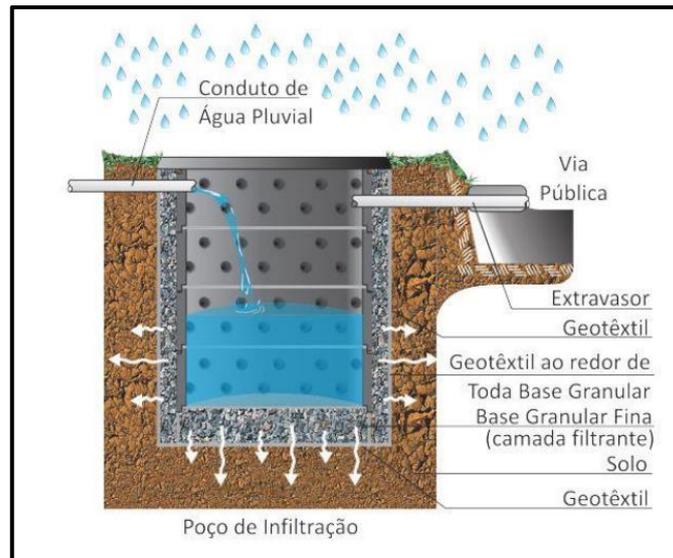
Fonte: Reis (2018).

Dentre as diversas técnicas de drenagem compensatória que fazem parte da resposta sustentável as demandas por sistemas eficientes de drenagem (SIVIERO, 2018), neste trabalho será abordado sobre os poços de infiltração, que são dispositivos de infiltração de água no solo, que podem ser utilizados no interior tanto de propriedades públicas como de propriedades privadas (lotes), cujas características permitem a implementação em áreas urbanas já consolidadas sem grandes alterações (MARTINS, 2017).

2.4 Sistema de Drenagem Compensatória: Poços de Infiltração

Baptista *et al.* (2005), define os poços como dispositivos pontuais com pequena ocupação de área superficial, concebidos para evacuar as águas pluviais diretamente no subsolo, por infiltração. De acordo com Barbassa; Angelini Sobrinha; Moruzzi (2014) esse sistema tem como função reduzir as vazões de pico, infiltrando o deflúvio superficial na fonte geradora e, dessa forma, minimizar o volume transportado por redes de drenagem convencionais (SIVIERO *et al.*, 2020). Este dispositivo de drenagem pode ser utilizado tanto em zonas permeáveis, como em zonas onde a camada superficial é pouco permeável, desde que as camadas mais profundas apresentem capacidades significativas de infiltração (Baptista *et al.*, 2005).

Para a concepção de poços de infiltração, devem ser considerados materiais construtivos com geometria que facilitem a infiltração da água captada nas áreas de contribuição. Por serem estruturas escavadas no solo, este dispositivo pode ser composto por tubos de concreto perfurado ou tijolos assentados em crivo, sendo as laterais e fundo preenchidos com material granular e envolto em geotêxtil que funciona como filtro para reter o material particulado que pode poluir o lençol freático, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Sistema de um poço de infiltração

Fonte: Reis, Ilha e Teixeira (2013) apud Reis (2018).

De acordo com Baptista *et al.* (2005), a introdução das águas pluviais no poço pode ocorrer de duas formas, sendo elas por alimentação superficial (modo difuso) ou por meio de uma rede de drenagem (modo localizado). Além disso, existe também a previsão da tubulação ligada à rede pública de drenagem ou sarjeta, para o caso de o poço atingir sua capacidade máxima de operação.

Quanto as vantagens deste método de controle na fonte, podemos destacar o baixo custo de concepção e implantação, capacidade de ser implantado nas mais variadas topografias, a redução de pressão no sistema de drenagem convencional por diminuir os volumes drenados por este sistema, além de demandar uma área bastante pequena para sua implantação. No entanto, como em todos os sistemas, alguns problemas operacionais podem ser identificados, como a possibilidade de colmatção, devido a manutenção insuficiente e o risco de contaminação do lençol freático, devido aos poluentes que podem ser carregados através da água conforme o local onde escoarem.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho teve uma abordagem exploratória e descritiva, envolvendo procedimentos de revisão bibliográfica, análise documental e a aplicação do método de dimensionamento de poços de infiltração a partir de parâmetros estabelecidos e valores definidos em conformidade com a bibliografia.

Para o desenvolvimento desse trabalho foram realizados os seguintes estágios metodológicos:

- a) Descrição dos aspectos conceituais dos tipos de sistemas complementares de drenagem de águas pluviais urbanas identificados na bibliografia;
- b) Análise dos documentos legais municipais referentes a taxa de permeabilidade, técnicas compensatórias para águas pluviais e outros elementos referentes a drenagem;
- c) Indicação e descrição dos métodos de cálculo praticados para dimensionamento do poço de infiltração como técnica de drenagem compensatória prevista na Lei de Uso e Ocupação do Solo do município de Dourados/MS;
- d) Definição de parâmetros para aplicar o dimensionamento de poços de infiltração na cidade de Dourados/MS;
- e) Análise do dimensionamento realizado, correlacionando os parâmetros e os critérios empregados com vista a se estabelecer um complemento para as diretrizes pré-estabelecidas para aplicação de poços de infiltração no município de Dourados.

3.1 Parâmetros para Projetos de Poços de Infiltração

Do mesmo modo que ocorre no dimensionamento dos sistemas convencionais de drenagem urbana, é essencial o conhecimento dos parâmetros que influenciam na concepção de sistemas de drenagem na fonte, pois são eles os responsáveis por determinar sua viabilidade e limitações. O objetivo da definição de parâmetros locais para o projeto de poços de infiltração é o suprimento das limitações de cada solução visando o cumprimento do propósito de restabelecer o balanço hídrico do local, proporcionar maior desempenho de operação e dimensionamento econômico e funcional (REIS, ILHA, TEIXEIRA, 2013).

O dimensionamento dos poços depende de parâmetros hidrológicos como a intensidade de precipitação, duração e frequência da chuva, tempo de funcionamento e esvaziamento do sistema e dados de solo local, como a taxa de infiltração ou permeabilidade (SIVIERO, 2018).

Além desses parâmetros, Baptista *et al* (2005), traz algumas recomendações que devem ser levadas em consideração para a implantação dos poços, como: evitar a implantação próximo a árvores, optar pela implantação em pontos de menor nível

topográfico para favorecer o direcionamento do escoamento e definir o poço a uma distância da área construída pelo menos de igual profundidade do poço. Outro fator importante que deve ser analisado é quanto ao nível do lençol freático, onde a Norma Brasileira (NBR) 13969:1997 estabelece que o fundo do sumidouro deve ter um afastamento mínimo de 1,50m do nível do lençol freático (ABNT, 1997).

3.2 Método de Dimensionamento de Poços de Infiltração

3.2.1 Área de Estudo

Para o presente trabalho foi dimensionado um poço de infiltração para uma área de 360 m² (terreno de 12m x 30m), considerando os parâmetros urbanísticos da Área Residencial I (ARI) da cidade de Dourados/MS, onde a taxa de ocupação corresponde a 60% do terreno e a taxa de permeabilidade corresponde a 15%, conforme a LUOS (DOURADOS, 2012). O método utilizado para a aplicação da medida de controle de inundações foi o método da “curva envelope”, apresentado pela equação IDF, utilizada para a caracterização das chuvas máximas, onde a máxima diferença entre o volume de precipitação que entra no dispositivo e o volume infiltrado resulta no volume de dimensionamento (SILVEIRA; GOLDENFUM, 2007).

3.2.2 Parâmetros Hidrológicos

O primeiro parâmetro a ser determinado para o dimensionamento do poço é o tempo de retorno (T), definido como o intervalo médio de tempo que determinado evento hidrológico tem probabilidade de se repetir. Este valor serve de base para a determinação do volume útil e do risco de falha que um sistema de infiltração de água da chuva deve ter, sendo seu valor definido por meio da utilização de tabelas que traduzem a prática, conforme a Tabela 1:

Tabela 1 – Tempos de retorno para diferentes ocupações.

Tipo de obra	Tipo de ocupação da área	Tempo de retorno (anos)
Microdrenagem	residencial	2
	comercial	5
	áreas com edifícios de serviço público	5
	aeroportos	2-5
	áreas comerciais e artérias de tráfego	5-10
Macro-drenagem	áreas comerciais e residenciais	50-100
	áreas de importância específica	500

Fonte: DAEE/CETESB, 1980

Neste trabalho, por se tratar de uma microdrenagem em área residencial, o tempo de retorno (T) adotado será de 2 anos.

Fixado este valor, é possível estimar a quantidade de chuva que irá precipitar ao longo do tempo a partir da formulação matemática da relação IDF. Logo, a precipitação efetiva, que se trata da fase de ocorrência do transporte da água na superfície terrestre, deve ter o mesmo tempo de concentração da bacia contribuinte para o trecho a ser dimensionado (MENESES; TEIXEIRA; LOPES, 2020). De forma genérica, as curvas IDF são escritas da seguinte forma:

$$i = \frac{a \cdot T^b}{(t + c)^d} \quad (1)$$

Onde: a , b , c e d são parâmetros que variam para cada região, i a intensidade de chuva, T o período de retorno e t o tempo de duração da chuva.

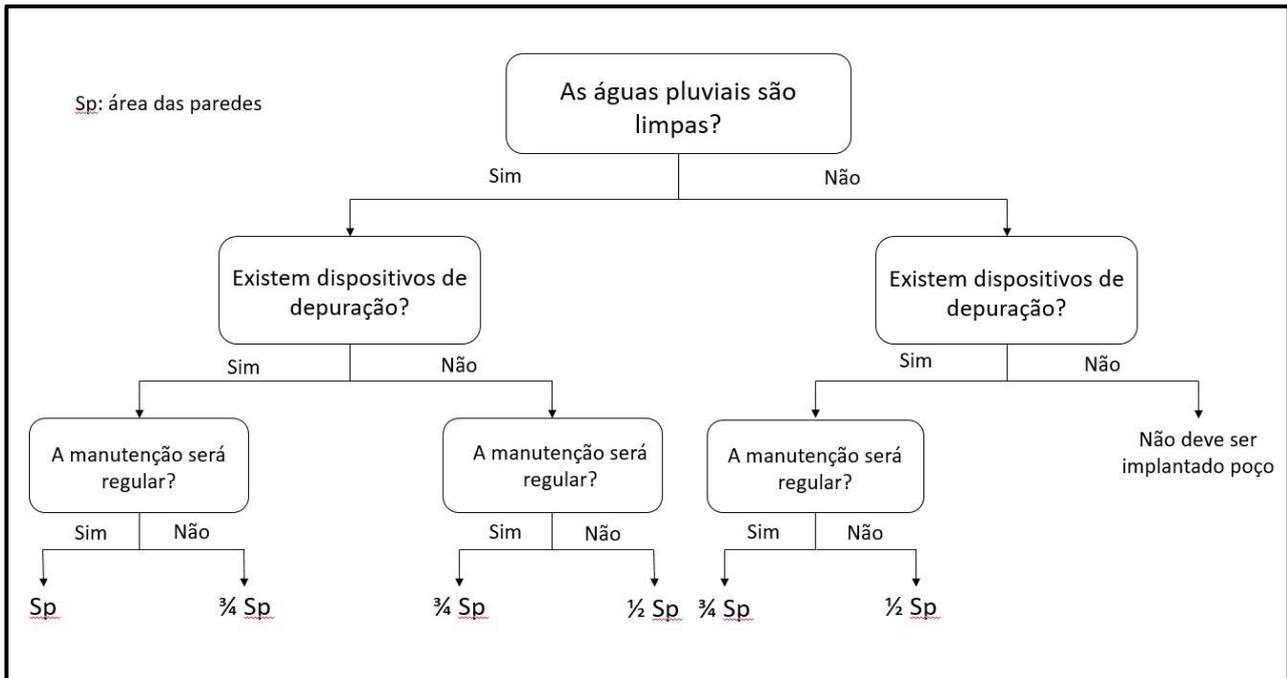
Para a cidade de Dourados/MS, a equação elaborada por Nóia (2013), analisou os dados pluviométricos de duas estações meteorológicas, resultando na determinação das durações de precipitações máximas para 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos. Assim, a relação IDF de Dourados é dada pela Equação 2, sendo i em mm/h, T em anos e t em minutos:

$$i = \frac{2455,12633 \cdot T^{0,17975}}{(t + 28,14066)^{0,88386}} \quad (2)$$

Para efetuar o dimensionamento é necessário transformar as intensidades $i(D, T)$ em alturas precipitadas $P(D, T)$, sendo que as alturas correspondem ao produto da duração do evento pela intensidade.

Definidos os índices hidrológicos para o dimensionamento, a próxima etapa a ser considerada foi referente aos parâmetros locais da área de estudo, sendo estes a área de contribuição, coeficiente de permeabilidade do solo e coeficiente de segurança do poço. Este último, leva em consideração a natureza das águas pluviais, a existência de dispositivos de depuração (filtros) e a natureza da manutenção prevista, sendo dado pelo fluxograma abaixo (BAPTISTA *et al.*, 2005).

Figura 5 – Coeficiente de Segurança para Poços de Infiltração



Fonte: Azzout *et al.*, (1994) *apud* Baptista *et al.*, (2005).

Para este trabalho será considerado águas pluviais limpas, sem dispositivo de depuração e com manutenção regular, resultando em um coeficiente de segurança de $\frac{3}{4}$ de área das paredes do poço para a infiltração, conforme a Figura 5.

A área de contribuição se refere a parcela de área responsável por gerar o escoamento no lote sendo dada pela multiplicação da taxa de ocupação pela área total de terreno.

3.2.3 Parâmetros Relativos ao Solo

O coeficiente de permeabilidade do solo depende de sua composição, o qual é determinado por análises laboratoriais retiradas de profundidades onde se deseja instalar o sistema, determinando por meio de sondagem a composição do solo, seu perfil de camadas, nível do lençol freático e suas características. Diante disso, Scorza e Silva (2011) encontraram valores para três diferentes tipos de solos da região de Dourados em profundidades de 0 à 100 centímetros, sendo assim para este estudo será utilizado o coeficiente de permeabilidade encontrado para a profundidade entre 20 e 40 centímetros, onde $k = 2,8 \times 10^{-5} \text{ m/s}$.

Em posse destes dados, calculou-se a área de infiltração para diferentes diâmetros, sendo esta a área responsável por contribuir para infiltração e evacuação da água armazenada no poço, dada pela Equação 3:

$$A_{inf} = \pi \cdot D \cdot P \cdot C_{seg} \quad (3)$$

Onde: D é o diâmetro (metros), P a profundidade (metros) e C o coeficiente de segurança (adimensional).

Para efeitos de cálculo, fixou-se um valor de profundidade (P) do poço, o qual deve respeitar o horizonte permeável e o nível do lençol freático, para determinar o seu diâmetro (D). Em seguida, calculou-se a vazão de infiltração pela Equação 4,

$$Q_{inf} = A_{inf} \cdot k \quad (4)$$

Onde: A_{inf} é a área de infiltração (m^2) e k é o coeficiente de permeabilidade do solo (m/s).

Tendo a vazão de infiltração, calculou-se a vazão efetiva a ser atendida pelo sistema utilizando a Equação 5:

$$q_s = \frac{Q_{inf}}{A_{contribuição}} \quad (5)$$

Onde: q_s é a vazão de infiltração por unidade de área (mm/min), Q_{inf} é a vazão de infiltração (m^3/s) e $A_{contribuição}$ é a área de contribuição em (m^2).

Em seguida, obtém-se a quantidade de chuva infiltrada para cada período, multiplicando a vazão infiltrada (q_s) pela duração do evento de chuva.

Assim, é possível calcular a diferença de altura entre a quantidade de chuva e o volume de água infiltrado para o dado período, conforme a Equação 6.

$$DH = P(D, T) - q_{s_{inf}} \quad (6)$$

Onde: DH é a diferença de altura (mm), $P(D, T)$ a precipitação (mm) e $q_{s_{inf}}$ é a vazão de infiltração (mm).

Assim, tem-se que o volume de água a armazenar pelo sistema em função da chuva de projeto é dado pela Equação 7.

$$V_a = DH \cdot A_{contribuição} \quad (7)$$

Onde: V_a é o volume de contribuição (m^3), DH a diferença de altura de água (mm) e $A_{contribuição}$ é a área de contribuição (m^2).

Em função da geometria do poço, calculou-se o volume disponível de armazenamento do poço pela Equação 8, respeitando que a viabilidade de escolha do diâmetro se dá quando o volume geométrico (V_d) do poço é maior que o volume de contribuição (V_a) de água.

$$V_d = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot P}{4} \quad (8)$$

Onde: V_d é o volume disponível (m^3), D é o diâmetro (m) e P a profundidade (m).

Por último, verificou-se quanto ao tempo de funcionamento (D_f), que corresponde ao tempo de enchimento do poço e o seu tempo de descarga (D_v), que corresponde ao tempo necessário para escoar o volume armazenado. Segundo Baptista *et al.* (2005), esse tempo deve ser estabelecido de forma a não superar 24 horas. Assim, esses parâmetros podem ser determinados pelas equações 9 e 10 respectivamente.

$$D_f = \frac{P(D, T)}{q_s} \quad (9)$$

$$D_v = \frac{DH_{máx}}{q_s} \quad (10)$$

Onde: D_f é o tempo de funcionamento (min), $P(D, T)$ a precipitação (mm), q_s a vazão de infiltração (mm/min). D_v o tempo de descarga (min), $DH_{máx}$ a altura máxima de precipitação (mm).

Dessa forma, elaborados todos os cálculos e previstas todas as possibilidades de implantação, a escolha do diâmetro viável para a execução do poço será o que satisfaz as condições de eficiência do sistema, sendo estas a capacidade de armazenamento em relação ao volume máximo gerado pela área de contribuição calculado a partir da relação IDF e a condição de tempo de funcionamento inferior a 24 horas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aplicando na Equação 2 o tempo de retorno (T) adotado, calculou-se as intensidades de chuva e as alturas precipitadas para as durações de precipitações máximas determinadas por Nóia (2013), resultando nos dados da Tabela 2.

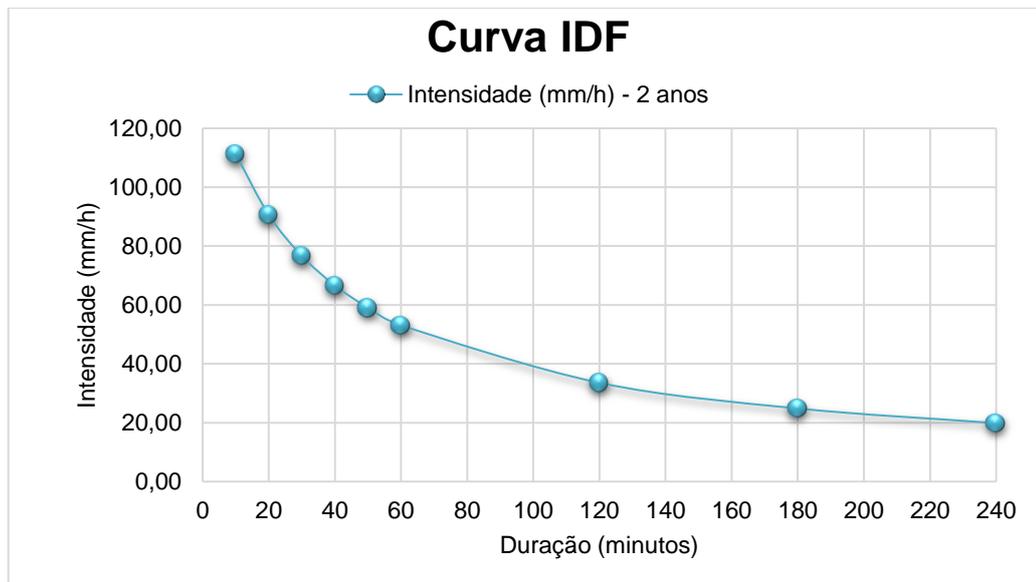
Tabela 2 – Determinação das intensidades e alturas precipitadas para $T = 2$ anos.

t (minutos)	i (mm/h)	P(D/T)
10	111,291	18,548
20	90,590	30,197
30	76,671	38,335
40	66,636	44,424
50	59,040	49,200
60	53,079	53,079
120	33,544	67,088
180	24,836	74,508
240	19,854	79,417
360	14,318	85,908
720	8,017	96,198
1440	4,418	106,027

Fonte: Autora, 2023.

A Figura 3, mostra a configuração gráfica característica de uma relação IDF para a cidade de Dourados/MS com os valores de intensidade e duração para o tempo de retorno de 2 anos.

Figura 3 – Curva Intensidade-Duração-Frequência



Fonte: Autora, 2023.

Fixando uma profundidade hipotética de 2,5 metros para o cálculo, onde este valor deve respeitar o nível do lençol freático conforme recomendado na seção 3.1 da

metodologia, aplicou-se o coeficiente de segurança do poço na Equação 3 para obter a área de infiltração para os diâmetros convencionados. Em seguida, aplicou-se este resultado na Equação 4 para obter a vazão de infiltração no solo de acordo com o coeficiente de permeabilidade descrito na Seção 3.2.3 da metodologia, resultando na Tabela 3.

Tabela 3 – Determinação da área de infiltração e vazão de infiltração.

D (metros)	A_{inf} (m ²)	Q_{inf} (m ³ /s)
1,00	5,89	0,00016
1,50	8,84	0,00025
2,00	11,78	0,00033
2,50	14,73	0,00041
3,00	17,67	0,00049

Fonte: Autora, 2023.

De acordo com os parâmetros urbanísticos da região definida para o cálculo na seção 3.2.1 da metodologia, a área responsável por gerar o escoamento no lote corresponde a 60% do terreno, resultando em uma área de contribuição de 216 m². Assim, este dado permite o cálculo da vazão de infiltração por unidade de área pela Equação 5, resultando nos dados da Tabela 4.

Tabela 4 – Determinação da vazão de infiltração por unidade de área.

D (metros)	q_s (m/s)	q_s (mm/min)
1,00	0,0000008	0,045815
1,50	0,0000011	0,068722
2,00	0,0000015	0,091630
2,50	0,0000019	0,114537
3,00	0,0000023	0,137445

Fonte: Autora, 2023.

Com estes dados, calculou-se a vazão de infiltração de água no solo para cada duração do evento chuvoso, resultando na quantidade de chuva que infiltrou ao longo do tempo em que ocorreu o evento. Com isso, obteve-se a diferença de altura (DH) entre a quantidade de chuva ($P(D, T)$) e a quantidade de água infiltrada no solo ($q_{s_{inf}}$) pela Equação 6, permitindo por fim o cálculo do volume de contribuição de água conforme a Equação 7, resultando nos valores das Tabelas que seguem, indicados para cada diâmetro.

Tabela 5 – Determinação do volume de água a armazenar no sistema para D = 1,0 m.

Diâmetro: 1,0 metro					
t (minutos)	i (mm/h)	P(D/T) (mm)	qs _{inf} (mm)	DH (mm)	V _a (m ³)
10	111,291	18,548	0,458149	18,09	3,91
20	90,590	30,197	0,916298	29,28	6,32
30	76,671	38,335	1,374447	36,96	7,98
40	66,636	44,424	1,832596	42,59	9,20
50	59,040	49,200	2,290745	46,91	10,13
60	53,079	53,079	2,748894	50,33	10,87
120	33,544	67,088	5,497787	61,59	13,30
180	24,836	74,508	8,246681	66,26	14,31
240	19,854	79,417	10,995574	68,42	14,78
360	14,318	85,908	16,493361	69,41	14,99
720	8,017	96,198	32,986723	63,21	13,65
1440	4,418	106,027	65,973446	40,05	8,65

Fonte: Autora, 2023.

Tabela 6 – Determinação do volume de água a armazenar no sistema para D = 1,5 m.

Diâmetro: 1,5 metros					
t (minutos)	i (mm/h)	P(D/T) (mm)	qs _{inf} (mm)	DH (mm)	V _a (m ³)
10	111,291	18,548	0,687223	17,68	3,86
20	90,590	30,197	1,374447	28,82	6,23
30	76,671	38,335	2,061670	36,27	7,84
40	66,636	44,424	2,748894	41,68	9,00
50	59,040	49,200	3,436117	45,76	9,88
60	53,079	53,079	4,123340	48,96	10,57
120	33,544	67,088	8,246681	58,84	12,71
180	24,836	74,508	12,370021	62,14	13,42
240	19,854	79,417	16,493361	62,92	13,59
360	14,318	85,908	24,740042	61,17	13,21
720	8,017	96,198	49,480084	46,72	10,09
1440	4,418	106,027	98,960169	7,07	1,53

Fonte: Autora, 2023.

Tabela 7 – Determinação do volume de água a armazenar no sistema para D = 2,0 m.

Diâmetro: 2,0 metros					
t (minutos)	i (mm/h)	P(D/T) (mm)	qs _{inf} (mm)	DH (mm)	V _a (m ³)
10	111,291	18,548	0,916298	17,63	3,81
20	90,590	30,197	1,832596	28,36	6,13
30	76,671	38,335	2,748894	35,59	7,69
40	66,636	44,424	3,665191	40,76	8,80
50	59,040	49,200	4,581489	44,62	9,64
60	53,079	53,079	5,497787	47,58	10,28
120	33,544	67,088	10,995574	56,09	12,12
180	24,836	74,508	16,493361	58,01	12,53

240	19,854	79,417	21,991149	57,43	12,40
360	14,318	85,908	32,986723	52,92	11,53
720	8,017	96,198	65,973446	30,22	6,53
1440	4,418	106,027	131,946891	-25,92	-5,60

Fonte: Autora, 2023.

Tabela 8 – Determinação do volume de água a armazenar no sistema para D = 2,5 m.

Diâmetro: 2,5 metros					
t (minutos)	i (mm/h)	P(D/T) (mm)	qs _{inf} (mm)	DH (mm)	V _a (m ³)
10	111,291	18,548	1,145372	17,40	3,76
20	90,590	30,197	2,290745	27,91	6,03
30	76,671	38,335	3,436117	34,90	7,54
40	66,636	44,424	4,581489	39,84	8,61
50	59,040	49,200	5,726862	43,47	9,39
60	53,079	53,079	6,872234	46,21	9,98
120	33,544	67,088	13,744468	53,34	11,52
180	24,836	74,508	20,616702	53,89	11,64
240	19,854	79,417	27,488936	51,93	11,22
360	14,318	85,908	41,233404	44,67	9,65
720	8,017	96,198	82,466807	13,73	2,97
1440	4,418	106,027	164,933614	-58,91	-12,72

Fonte: Autora, 2023.

Tabela 9 – Determinação do volume de água a armazenar no sistema para D = 3,0 m.

Diâmetro: 3,0 metros					
t (minutos)	i (mm/h)	P(D, T) (mm)	qs _{inf} (mm)	DH (mm)	V _a (m ³)
10	111,291	18,548	1,374447	17,17	3,71
20	90,590	30,197	2,748894	27,45	5,93
30	76,671	38,335	4,123340	34,21	7,39
40	66,636	44,424	5,497787	38,93	8,41
50	59,040	49,200	6,872234	42,33	9,14
60	53,079	53,079	8,246681	44,83	9,68
120	33,544	67,088	16,493361	50,59	10,93
180	24,836	74,508	24,740042	49,77	10,75
240	19,854	79,417	32,986723	46,43	10,03
360	14,318	85,908	49,480084	36,43	7,87
720	8,017	96,198	98,960169	-2,76	-0,60
1440	4,418	106,027	197,920337	-91,89	-19,85

Fonte: Autora, 2023.

Nota-se a ocorrência de valores negativos nos cálculos da diferença de altura (DH), os quais significam que o volume de água infiltrou mais rápido do que o volume de água gerado pela precipitação.

Assim, a partir dos resultados das Tabelas acima, calculou-se o volume disponível (V_d) para o armazenamento de água em função da geometria do poço pela Equação 8, levando-se em consideração os valores máximos da diferença de altura (DH) e volume de contribuição (V_a) calculado para cada diâmetro, sendo estes valores indicados na Tabela 10.

Tabela 10 – Determinação do volume disponível no poço.

D (metros)	$DH_{máx}$ (mm)	V_a (m ³)	V_d (m ³)
1,00	69,41	14,99	1,96
1,50	62,92	13,59	4,42
2,00	58,01	12,53	7,85
2,50	53,89	11,64	12,27
3,00	50,59	10,93	17,67

Fonte: Autora, 2023.

Neste sentido, aplicando-se a regra descrita na seção 3.2.3 da metodologia onde $V_a < V_d$, é possível notar que os diâmetros de 1,00; 1,50 e 2,00 não atendem a este requisito, pois os volumes de contribuição gerados são superiores ao volume de armazenamento previsto no poço. No entanto, para definir a escolha do diâmetro que atenda as condições de eficiência do poço, é necessário verificar quanto ao seu tempo de funcionamento e o seu tempo de descarga, realizados pela aplicação das Equações 9 e 10 respectivamente, resultando nos dados da Tabela 11.

Tabela 11 – Determinação do tempo de funcionamento e descarga do poço.

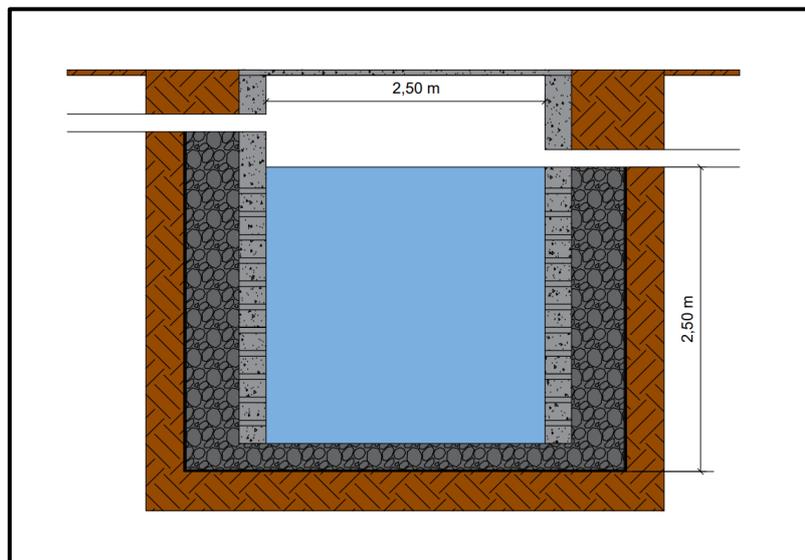
D (metros)	D_f (horas)	D_v (horas)
1,00	38,57	25,25
1,50	25,71	15,26
2,00	19,29	10,55
2,50	15,43	7,84
3,00	12,86	6,14

Fonte: Autora, 2023.

Analisando-se os resultados da Tabela 11, é possível notar que a partir do diâmetro de 2,00 metros tem-se que o tempo de funcionamento do poço é inferior a 24 horas, atendendo ao requisito estabelecido para a determinação do diâmetro. Porém, como exposto na Tabela 10, este diâmetro não atende as condições de volume disponível. Logo, a partir dessas considerações e dos critérios estabelecidos para a escolha do diâmetro, para o caso considerado nos cálculos, tem-se que os diâmetros de 2,5 metros e 3,0 metros atendem aos dois critérios de escolha. Dessa forma, levando-se em consideração o volume

disponível (V_d), nota-se que o diâmetro de 3,0 metros possui um volume disponível superdimensionado em relação ao volume que deve ser atendido pelo sistema. Portanto, considerando-se a viabilidade econômica em uma realidade de execução do sistema e por satisfazer as condições de eficiência para um poço de infiltração, o diâmetro escolhido é o diâmetro de 2,5 metros. Para essa dimensão o poço terá uma capacidade de armazenamento de 12,27 m³, enquanto o volume máximo de chuva para esse diâmetro, calculado a partir da relação IDF de Dourados, foi de 11,64 m³. Além disso, é respeitada a condição de que o tempo de funcionamento do poço seja menor que 24 horas ($D_f = 15,43$ horas), sendo este o diâmetro mais viável para a implantação, por atender a todos os quesitos de operação. A Figura 4 mostra a configuração do poço de infiltração dimensionado.

Figura 4 – Poço de infiltração dimensionado.



Fonte: Autora, 2023.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho abordou sobre os poços de infiltração e seu respectivo dimensionamento como medida de compensação à Taxa de Permeabilidade do Solo (TPS), prevista na legislação do município de Dourados, a qual prevê este sistema como uma alternativa para reestabelecer as condições de veiculação das águas pluviais no lote, quando esta não ocorre conforme os parâmetros estabelecidos na legislação. De forma geral, esse sistema faz parte de uma resposta sustentável que contribui para a diminuição da pressão sobre os sistemas convencionais de drenagem, colaborando para o reestabelecimento das condições naturais do ambiente.

A metodologia apresentada permite que o planejador utilize da estratégia de dimensionamento proposta, com as características pluviométricas locais, que contemplem aspectos hidrológicos importantes no processo de gestão do uso e ocupação do solo, estimulando assim uma intervenção no manejo das águas pluviais de forma a diminuir os impactos da urbanização a partir da implantação de medida compensatória pautada no armazenamento temporário da água excedente.

Com base nos resultados, o poço de infiltração dimensionado resultou em 2,5 metros de diâmetro, com capacidade de armazenamento de 12,27 m³. Com as características geométricas do poço foi possível determinar seu funcionamento no período de 24 horas, mostrando que o seu dimensionamento desempenha uma operação satisfatória e que atende aos requisitos de eficiência, pois para o tempo de retorno estabelecido, o poço abrange todos os volumes de contribuição gerados pelas intensidades e durações da chuva de projeto para o diâmetro selecionado.

Para trabalhos futuros pode-se sugerir a realização de estudos de análise do solo in loco, obtendo dados reais sobre a área de simulação para implantação do método e realizar uma comparação quanto aos cálculos realizados para os dados previstos na literatura. Além disso, também convém a realização de um levantamento de custo para execução do sistema, indicando sua viabilidade frente ao custo-benefício para sua aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13969** – Tanques séptico – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

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

BARBASSA, A. P.; ANGELINI SOBRINHA, L.; MORUZZI, R. B. Poço de infiltração para controle de enchentes na fonte: avaliação das condições de operação e manutenção. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.14, n.2, p. 91-107, abr./jun. 2014.

CAMPOS, B. F. **Fundamentos e dinâmicas da produção espacial: aspectos da ampliação do perímetro urbano de Dourados, MS em 2011**. 2014. 172f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS : UFGD, 2014.

CARVALHO, E. T. L. **Avaliação de Elementos de Infiltração de Águas Pluviais na Zona Norte da Cidade de Goiânia**. 233 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

DA SILVA, W. G.; DA SILVA, P. F. J. **Mato Grosso do Sul no início do século XXI: Integração e desenvolvimento urbano-regional**. Volume 2. Campo Grande, MS: Life Editora, 2017.

FILHO, A. de S. M.; TEIXEIRA, L. F. da C.; LOPES, G. S. Dimensionamento de Reservatório de Detenção partindo da Relação IDF regente no Município de Fortaleza (CE). **Revista Internacional de Ciências**, Rio de Janeiro, v.10, n. 03, p. 13 - 31, set-dez 2020.

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

DOURADOS. **Lei Complementar Nº 72, de 30 de dezembro de 2003**. Institui o Plano Diretor de Dourados, cria o Sistema de Planejamento Municipal e dá outras providências. Dourados, MS.

DOURADOS. **Lei Complementar Nº 205, de 19 de outubro de 2012**. Dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo e o Sistema Viário no Município de Dourados e dá outras providências. Dourados, MS.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. IBGE. **Estimativas de população: Estimativas 2021**. IBGE, 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>>. Acesso em: 10/10/2022

JÚNIOR, R. P. S.; SILVA, J. P. **Sensibility Analysis of the Pearl Model for Pesticide Leaching in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil**. Jaboticabal, v. 31, n. 5, p. 965-973, set./out. 2011.

MARTINS, L. G. B. **Avaliação do potencial de aplicação de técnicas compensatórias em áreas urbanas consolidadas**. Tese (Doutorado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-16042018-103719/pt-br.php>>. Acesso em 10/10/2022.

NÓIA, C. P. Z. **Estimativa de Precipitação Pluvial Máxima para o Estado de Mato Grosso do Sul**. 2013. 61f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/548>>. Acesso em: 08/10/2022

PREFEITURA CONVIDA POPULAÇÃO PARA AUDIÊNCIA PÚBLICA PARA APRESENTAÇÃO DA ANÁLISE TEMÁTICA INTEGRADA DO PLANO DIRETOR. **Prefeitura Municipal de Dourados**. Dourados, 27 de junho de 2022. Disponível em: <<https://dourados.altouruguai.eng.br/prefeitura-convida-populacao-para-audiencia-publica-para-apresentacao-da-analise-tematica-integrada-do-plano-diretor/>>. Acesso em: 20 de set. de 2022

REIS, R. P. A. **Avaliação de desempenho e modelagem numérica de sistemas de infiltração de água de chuva integrados aos sistemas prediais**. 277 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. 2018

REIS, R. P.A.; ILHA, M. S. de O.; TEIXEIRA, P. de C. Sistemas Prediais de Infiltração de Água de Chuva: Aplicações, Limitações e Perspectivas. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 7, n. 3, pp. 55-67. 2013.

SABINO, V. D. **Avaliação sobre a implementação do Plano Diretor Municipal de Dourados**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Gestão Ambiental) – Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/3989/1/VictorDengoSabino.pdf>>. Acesso em 16 de mai. de 2022.

SANTOS, A. A. M.; CALVARIO, A. C. **Sistemas Compensatórios de Drenagem Urbana: Um Estudo Sobre a Aplicabilidade de Poços de Infiltração**. 2021. 50 p. Trabalho Final de Curso da Pós-Graduação *lato sensu* em Engenharia de Infraestrutura Urbana – Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vitória, ES.

SILVEIRA, A. L. L.; GOLDENFUM, J. A. Metodologia Generalizada para Pré-Dimensionamento de Dispositivos de Controle Pluvial na Fonte. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 2, p. 157-168, 2007.

SIVIERO, F. M. **Avaliação do Desempenho de Dois Poços de Infiltração com Características Distintas como Medida de Contenção de Drenagem Urbana na Fonte**. 2018. 164 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, Caxias do Sul/RS, 2018.

SIVIERO, Flavia Manica et al. Estudo comparativo do desempenho de poços de infiltração como medida de contenção de drenagem urbana na fonte. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 70841-70866, 2020.

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48). 50p. ISSN: 2179-5495, 2012.