

Avaliação da viabilidade de implantação de técnicas compensatórias em habitações de padrões socioeconômicos distintos

Viability evaluation of compensatory techniques implantation in different housing standards

• **Data de entrada:**
20/02/2023


• **Data de aprovação:**
24/03/2023

Luíza Ferreira Moreira de Souza^{1*} | Frederico Carlos Martins de Menezes Filho² |
Maria Clara Fava³ | Alexandre Silveira⁴


DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2024.016>

ORCID ID

Souza LFM  <https://orcid.org/0000-0001-5893-8059>

Menezes Filho FCM  <http://orcid.org/0000-0003-4874-0254>

Fava MC  <https://orcid.org/0000-0002-8201-4339>

Silveira A  <https://orcid.org/0000-0001-9479-4670>

Resumo

A urbanização desenfreada tem aumentado as áreas impermeáveis presentes nas bacias hidrográficas alterando a hidrologia urbana pela redução da infiltração e aumento do escoamento superficial. Em paralelo, a infraestrutura de drenagem urbana, incipiente em diversas regiões brasileiras e concebida sob a ótica higienista, propicia um cenário recorrente de inundações e alagamentos, além de perdas materiais e humanas. Com o objetivo de amenizar esses impasses, surgiram metodologias para um planejamento mais sustentável dos sistemas de drenagem, como os Sustainable Urban Drainage Systems (SUD's). Assim, este trabalho possui o objetivo de analisar a viabilidade de implantação de três diferentes técnicas compensatórias na cidade de Rio Paranaíba (MG), considerando padrões distintos de residências consoante à ABNT NBR 12721:2006. Tendo como referência a curva IDF da cidade de Rio Paranaíba e determinadas as dimensões de cada estrutura, foi possível constatar que, na cidade, o reservatório individual é viável em todos os padrões residenciais analisados, a trincheira de infiltração nas residências de baixo padrão e padrão normal, e o poço de infiltração apenas na residência de baixo padrão.

Palavras-chave: Hidrologia urbana. Manejo de águas pluviais. Drenagem urbana sustentável.

Abstract

The chaotic urbanization has increased the impervious areas in watersheds changing the urban hydrology by reducing the rainfall infiltration capacity of the land surface and increasing its runoff. Furthermore, the urban drainage infrastructures are still in an early stage of development in several Brazilian regions and were conceived from a hygienist perspective, resulting in a recurrent scenario of floods, besides material and human losses. New methodologies have been proposed to lead to a more sustainable systems design, such as Sustainable Drainage Systems (SUDs), to mitigate these problems. Therefore, this study aims to analyze the viability of implementing three different compensatory techniques in Rio Paranaíba (MG), considering different housing standards defined by the ABNT NBR 12721:2006. Using Rio Paranaíba (MG) IDF curve as a reference, and each structure's dimen-

¹ Universidade Federal de Uberlândia - Uberlândia - Minas Gerais - Brasil.

² Universidade Federal de Viçosa - Rio Paranaíba - Minas Gerais - Brasil.

³ Universidade Federal de São Carlos - São Carlos - São Paulo - Brasil.

⁴ Universidade Federal de Alfenas - Poços de Caldas - Minas Gerais - Brasil.

* **Autora correspondente:** luiza.f.souza@ufu.br.

sions determined, it was possible to conclude that, at the city, the individual reservoir can be implanted at all housing standards, the infiltration trench can be built at low and normal standards, and the infiltration performs well just at the low patterns.

Keywords: Urban hydrology. Storm water management. Sustainable urban drainage.

1 INTRODUÇÃO

A intensa urbanização, caótica e sem planejamento, afeta a drenagem das águas pluviais urbanas, devido à alteração de uma das mais importantes etapas do ciclo hidrológico, a infiltração (SOUZA, 2002). Em termos mundiais, a partir da segunda metade do século XX houve um grande aumento da concentração populacional, sendo registrada uma taxa de 751 milhões em 1950, e que, segundo a *United Nations* (UN, 2020), chegou à marca de 7,8 bilhões em 2020. Segundo o IBGE (2010), a projeção feita até o ano de 2060 é que a população brasileira cresça cerca de 17,1%, sendo este aumento de 14,8% na região Sudeste e de 6,0% no estado de Minas Gerais.

Além disso, há um aumento das áreas impermeáveis nas cidades, que se materializam em calçadas, ruas e telhados, por exemplo, dificultando a infiltração das águas de chuva e aumentando o escoamento superficial. GRANZIERA (2021), por meio da avaliação dos dados de dois pontos de vazão e um ponto de precipitação por meio dos postos do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica), constatou que, no período de 2002 a 2006, o aumento de 13,1% da população desencadeou um aumento de 49,91% dos picos de vazão em Piracicaba (SP). Do mesmo modo, o estudo desenvolvido por WELERSON (2019), por meio da simulação de resposta de uma micro-bacia urbana da cidade de Itajubá (MG) em três cenários diferentes de uso e ocupação do solo usando o programa HEC-HMS, apresenta um aumento da vazão máxima da bacia em aproximadamente três vezes quando comparada às vazões

de um cenário pré-urbanização. Essa excessiva impermeabilização do solo acaba por sobrecarregar o sistema convencional de drenagem, por ele ser inflexível às mudanças de regime hidrológico, trazendo então o aumento da frequência e magnitude das inundações e deterioração ambiental (RIGHETTO, 2009).

A função do sistema de drenagem convencional, composto por sarjetas, bocas de lobo e galerias de águas pluviais, resume-se à rápida remoção das águas pluviais do meio urbano; concepção higienista que, desde a década de 1970, vem sendo substituída em diversos países por medidas mais sustentáveis. Elas buscam uma menor interferência do ciclo das águas; conceito ambientalista. Na contramão deste movimento, o Brasil ainda se caracteriza por possuir uma drenagem urbana higienista, o que agrava a ocorrência de cheias e inundações (CHRISTOFIDIS et al., 2019).

Além dos prejuízos materiais e da qualidade dos recursos hídricos que a ausência de sistemas de drenagem urbana proporciona, destacam-se os impactos ambientais e sanitários. No parâmetro ambiental, NETO et al. (2020) verificaram que o escoamento superficial urbano em áreas de ocupações residenciais, comerciais e industriais contribuem sobretudo no aporte de cargas poluentes, devido ao *first-flush*, primeira carga de lavagem das chuvas. Na ótica sanitária, a deficiência ou ausência desse sistema propicia a proliferação de doenças, como febre amarela, dengue, esquistossomose, leptospirose e verminoses (SOUZA et al., 2002 e BAPTISTA et al., 2015). Frente a isso, a drenagem sustentável deve ser mais estudada, desprendendo-se da

ideia do rápido afastamento das águas pluviais e buscando aumentar o tempo de concentração da bacia por meio de técnicas de armazenamento e infiltração (NUNES et al., 2017).

Neste enfoque, novas abordagens vêm sendo analisadas, sendo uma delas a *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS), desenvolvida na Europa. Algumas cidades brasileiras possuem planos diretores de drenagem urbana com princípios ecológicos, como Porto Alegre (RS), Belo Horizonte (MG) e Curitiba (PR). Entretanto, ainda não se enquadram completamente na proposta de SUDS. Para que essa ideologia tenha um bom aproveitamento no Brasil, é importante que haja uma adequação à realidade local, uma vez que a maioria dos estudos foi realizada em países desenvolvidos e com clima temperado (POLETO, 2011). Trabalhos que adotaram os SUDS's, ou também denominadas técnicas compensatórias, comprovam a sua eficiência na redução de cargas poluentes a taxas entre 19% a 50% (BAEK et al., 2020), remoção de sólidos totais numa ordem de aproximadamente 90% (HAMEDANI et al., 2021) e até a redução da profundidade de escoamento e vazão de pico em 83% e 86%, respectivamente (TIRPAK et al., 2020).

Consoante BAPTISTA et al. 2015, as técnicas compensatórias destinadas às áreas de pequeno e médio porte podem ser divididas em lineares e pontuais. Técnicas lineares possuem dimensão longitudinal maior em comparação às demais, podendo ser integrada em espaços estreitos e limitados. E as técnicas pontuais são implantadas na fonte, associando-se a pequenas superfícies de drenagem. Neste trabalho serão aplicadas duas técnicas pontuais, poços de infiltração e reservatórios individuais, e uma técnica linear, as trincheiras de infiltração.

As trincheiras de infiltração são estruturas lineares que armazenam a água precipitada por tempo suficiente para sua infiltração no solo (PEITER;

POLETO, 2012), podendo apresentar uma eficiência de até 82% na retenção do escoamento, como demonstrado por JR e MEDIONDO (2015). Os poços de infiltração são poços escavados no solo, revestidos por tubos de concreto perfurado ou tijolos com fundo de camada de agregados graúdos. Nele, toda a água da chuva é lançada, e após diminuição da capacidade de absorção do solo e total enchimento da estrutura, a água é escoada ao sistema público de drenagem. REIS e ILHA (2014) verificaram que, sob condições extremas de operação, em que o volume de chuva foi maior que o suportado pelo poço, houve uma redução do pico de vazão de escoamento entre 13% e 16%.

Os reservatórios individuais (RECESA, 2007) são pequenos tanques, construídos ou comprados, e instalados dentro dos lotes com fins de amortecimento dos picos de vazão a jusante, que permitem o aproveitamento da água pluvial para usos domésticos não potáveis como lavagem de veículos e áreas molhadas e jardinagem. A sua evacuação é feita por meio de infiltração no solo ou por descarga na rede já existente. O uso dos reservatórios pode amortecer a vazão de pico em intervalos de 11,75% (Dias, 2015) e 17,39% (FRANCISHET e FILHO, 2013). Já MATTA e PEIXOTO (2017) atingiram um amortecimento de 46,40% numa associação entre os telhados verdes e micro reservatórios.

Por outro lado, as desvantagens que rodeiam as técnicas relacionadas a infiltração, trincheiras e poços exigem que se tenha uma especial atenção à interferência que tal técnica pode causar ao lençol freático local, como a contaminação de suas águas (poluição), sendo um parâmetro extremamente importante na tomada de decisão sobre o dimensionamento destas estruturas. O reservatório individual é mais limitante na questão de espaço; uma vez que não possui uma boa disponibilidade do mesmo, a técnica torna-se inviável (BAPTISTA et al., 2015).

2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a viabilidade de implantação de trincheira de infiltração, poço de infiltração e microreservatório em habitações de baixo, normal e alto padrão, segundo a ABNT NBR 12721:2006.

3 METODOLOGIA

As residências nas quais as três técnicas compensatórias serão dimensionadas e analisadas se localizam na cidade de Rio Paranaíba, Minas Gerais. Os projetos arquitetônicos foram fornecidos pela empresa júnior de Engenharia Civil da

Universidade Federal de Viçosa, Campus Rio Paranaíba, CONCRETA - Soluções em Engenharia, e pela Prefeitura Municipal de Rio Paranaíba, ambas mediante autorização das mesmas.

3.1 Análise de Viabilidade

Para o dimensionamento de cada técnica, adotaram-se parâmetros mínimos de acordo com BAPTISTA et al. (2015) para a sua aplicação em cada residência, sendo observadas as restrições de implantação que cada estrutura apresenta, como mostrado na Tabela 1 e a edição dos projetos por meio do AutoCAD 2021.

Tabela 1 - Importância relativa de restrições à implantação e operação das técnicas

Técnica	Trincheira de Infiltração	Poço de Infiltração	Reservatório individual
Permeabilidade do solo	+++	+++	+
Declividade	+++	+	+
Proximidade do lençol freático	+++	+++	++
Proximidade leito rochoso	+++	+++	++
Restrições ao uso do solo	++	++	+
Aporte de sólidos	+	+	+
Disponibilidade de espaço	++	+++	+++
Risco de poluição	+	+	+++
Risco de água com finos	++	++	+++
Percepção da população	+++	+++	+

Legenda: +++: grande importância ++: média ou possível importância +: importância pequena ou nula

Fonte: Adaptado de Baptista et al. (2015) e Recesa (2007).

3.2 Classificação das Residências

Para fins de comparação entre as residências, as mesmas foram classificadas consoante à ABNT

NBR 12721:2006 (Tabela 2), que se baseia nas características principais e acabamentos.

Tabela 2 - Caracterização projetos padrão (ABNT, 2006).

Sigla	Nome	Quantidade de dormitórios	Área Real (m ²)
RP1Q	Residência popular	1	< 39,56
R1-B	Residência padrão baixo	2	< 58,64
R1-N	Residência padrão normal	3	< 106,44
R1-A	Residência padrão alto	4	< 224,82

Perante o disposto, as residências analisadas neste estudo foram classificadas conforme consta na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação das residências.

Residência	Quantidade de dormitórios	Área do lote (m ²)	Área real (m ²)	Classificação
Projeto A	2	123,50	53,80	R1-B
Projeto B	3	106,05	92,27	R1-N
Projeto C	4	371,50	266,35	R1-A

3.3 Caracterização do Solo

Pontelo (2017), por meio de trabalhos em superfície e sub superfície, foi capaz de caracterizar o solo da região da cidade de Rio Paranaíba e formular seis perfis geológico-geotécnicos do mesmo, classificando-o como Latossolo Vermelho distrófico típico A. Por meio dos boletins de sondagem, a percussão SPT (*Standard Penetration Test*) contactou a presença de 6,00 metros de argila arenosa de cor marrom e consistência mole na primeira camada do subsolo e o impenetrável, camada que impossibilita a infiltração da água no solo, a uma profundidade próxima a cota de 10 metros da superfície.

O mesmo autor, para a determinação do nível do lençol freático, realizou boletins de sondagem e medição em quatro poços de abastecimento de água. Em três destes não foi encontrada água até a cota do impenetrável, e em um deles a mesma foi encontrada a uma cota próximo de 10 metros.

O coeficiente de condutividade hidráulica saturada do solo da região foi obtido por Melo et al. (2018) por meio de amostras coletadas na área experimental da Universidade Federal de Viçosa (UFV) - *Campus* Rio Paranaíba, MG, por meio do permeâmetro de Guelph, o qual utiliza-se do método de um ou dois estágios. O de um estágio (ELRICK et al., 1989) é feito pelo procedimento que se mantém uma altura constante de água no furo de sondagem, e o de dois estágios (REYNOLDS e ELRICK, 1985) no qual uma segunda e maior altura de água é aplicada após a conclusão do primeiro estágio.

Segundo Soto et al. (2009), o método de um estágio terá uma boa determinação da condutividade hidráulica (q_{as}) em um número reduzido de ensaios, enquanto o de dois estágios será viável desde que impostos limites teóricos e experimentais, uma vez que a sorção influenciará significativamente na análise. Com base nesses estudos, adotou-se a situação mais desfavorável consoante MELO et al. (2018), sendo de 0,0011 cm/s, obtido pela média do método de dois estágios e uma profundidade de 0,20 a 0,40 metros. Desta maneira, conhece-se a capacidade do solo de infiltrar a água, sendo um parâmetro imprescindível para o dimensionamento das estruturas.

Apesar da condutividade hidráulica não ter sido obtida por meio de amostras de solo dos lotes de cada residência, o valor utilizado pela coleta de amostras no *campus* universitário se torna válido para o estudo quando se verifica que a crescente urbanização da cidade tem se direcionado à UFV. Sendo assim, o valor assumido é um representativo de uma área em expansão na cidade.

A porosidade (n) total de um solo se refere à fração do volume total em determinado volume de solo passível de ser ocupada por água ou ar (ALMEIDA, et al., 2017). Para o presente trabalho utilizou-se a média dos valores obtidos por Andreotti et al. (2010) e Ribeiro et al. (2007), os quais avaliaram a porosidade de um latossolo vermelho distrófico, como o da cidade de Rio Paranaíba (MG). Utilizando-se assim neste trabalho o valor de 0,488 m³.m⁻³.

3.4 Caracterização Hidrológica

O dimensionamento dos dispositivos de infiltração foi realizado com base no método da curva envelope (DAEE/CETESB, 1980), comumente aplicado em dimensionamento de bacias de detenção. Este método permite a estimativa de armazenamento máximo por meio da máxima diferença entre a lâmina de precipitação, $H(D,t)$ e a vazão de saída, qs,dt (Fig. 1), ou seja, o máximo de volume que a estrutura consegue receber sem que haja transbordamento. A primeira é oriunda da curva IDF (intensidade-duração-frequência), demonstrada na Eq. 7, por fatores de escoamento, tempo e relações de áreas, sendo K , a , b e c parâmetros da região, T o tempo de retorno, em anos e t o tempo de precipitação, em minutos. Já a vazão de saída é o produto constante da mesma pelo tempo.

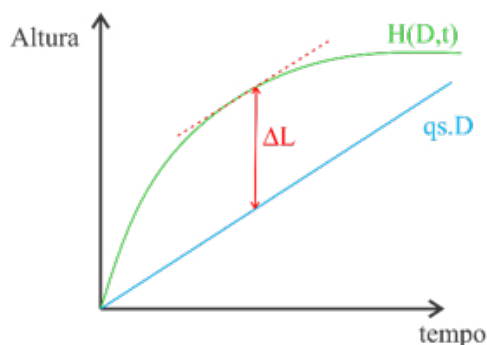


Figura 1 - Curva envelope
Fonte: Baptista et al. (2015)

O tempo de retorno (T) e duração da chuva de projeto (t) correspondem a 5 anos e 30 minutos, tendo em vista que as áreas do dimensionamento são de ocupação residencial e obras de microdrenagem (RECESA, 2017; DAEE/CETESB, 1980).

O volume de água máximo que a estrutura será capaz de comportar é dado pela Eq. 1, segundo Baptista et al. (2015).

$$Smáx = \Delta L \cdot Ae \quad (1)$$

Onde

$Smáx$ = volume de água a armazenar (m^3);

ΔL = a diferença máxima encontrada curva da Fig. 1 (m);

Ae = área efetiva de drenagem (m^2).

O tempo de funcionamento da estrutura corresponderá ao intervalo de tempo no qual há água na estrutura, podendo ser calculado pela igualdade entre os volumes de entrada e saída, ou seja, o encontro entre a curva $H(D,t)$ e a reta $qs.D$. O seu esvaziamento pode ser determinado pela Eq. 2.

$$Dv = \frac{\Delta L}{qs} \quad (2)$$

Onde

Dv = o tempo de esvaziamento (minutos);

ΔL = a diferença máxima encontrada curva da Fig. 4 (mm);

qs = vazão específica de saída (mm/min).

Em termos gerais, esse tempo de esvaziamento não pode superar o valor de 24 horas (BAPTISTA et al., 2015), uma vez que a função da estrutura é compensar o escoamento impedido pela impermeabilização do solo. Se a água permanecer nela por mais de 1 dia, não estará exercendo isso devidamente, tendo em vista que são técnicas de pequeno e médio porte.

Para o coeficiente de escoamento superficial, C , parâmetro que indica a relação entre a quantidade total de água escoada pela seção e a quantidade total de água precipitada (PINTO et al., 1976), adotou-se o valor 1.0, considerando que toda a chuva precipitada na área de telhado se torna escoamento.

3.5 Dimensionamento

A área geradora de escoamento superficial (A) será o telhado de cada edificação e estará diretamente conectada às estruturas.

3.6 Trincheiras de Infiltração

Para o dimensionamento, determinam-se as dimensões iniciais da trincheira, gerando a área de infiltração (A_{inf}), de acordo com o espaço disponível em cada uma das residências, sendo posicionada nos pontos mais baixos das mesmas e orientada longitudinalmente, no sentido de menor declividade (BAPTISTA et al., 2015). Para que a viabilidade nas residências possa ser comparada, serão adotadas as mesmas dimensões iniciais, tomando como referência a residência que dispuser de menos espaço disponível para a estrutura.

Definidos os parâmetros iniciais, a vazão de descarga será definida pela Eq. 3, segundo Baptista et al. (2015).

$$Q = \alpha \cdot q_{as} \cdot A_{inf} \quad (3)$$

Onde

Q = vazão de descarga (m^3);

α = coeficiente de segurança, de forma a considerar a colmatação;

q_{as} = capacidade de absorção por unidade de superfície de infiltração ($m^3/s.m^2$);

A_{inf} = área de infiltração (m^2).

3.7 Poços de Infiltração

Inicialmente, são determinadas as dimensões iniciais que geram a área de infiltração (A_{inf}), de acordo com o espaço disponível na superfície e sua profundidade, de acordo com os horizontes permeáveis do solo do terreno, com pelo menos 1 metro de altura de zona não saturada sob fundo do poço e, por questões econômicas, limitando-se a um valor máximo de 20 metros. A vazão de descarga será definida pela Eq. 4, segundo Baptista et al. (2015).

$$Q = q_{as} \cdot A_{inf} \quad (4)$$

Onde

Q = vazão de descarga (m^3/s);

q_{as} = capacidade de absorção por unidade de superfície de infiltração ($m^3/s.m^2$);

A_{inf} = área de infiltração (m^2).

Sendo Q a própria vazão de descarga, em m^3/s e q_{as} , a capacidade de absorção por unidade da superfície de infiltração, também denominada condutividade hidráulica do solo.

3.8 Reservatório Individual

O dimensionamento dos reservatórios individuais seguiu o exposto em RECESA (2007). Inicialmente, estima-se a vazão máxima de entrada da estrutura, utilizando o método racional, Eq. 5.

$$Q = C \cdot i \cdot A \quad (5)$$

Onde

Q = vazão máxima de entrada ou de saída (m^3/s);

C = coeficiente de escoamento superficial;

i = intensidade pluviométrica de projeto (m/s);

A = área impermeabilizada ou total do lote (m^2).

A intensidade pluviométrica de projeto é determinada pela Eq. 6.

$$i = \frac{K \times T^a}{(t+b)^c} \quad (6)$$

Onde

i = intensidade pluviométrica (mm/h);

T = tempo de retorno (anos);

t = duração da chuva (minutos);

a, b, c, d = valores dos coeficientes atribuídos conforme a localização da área de estudo.

Em seguida, traça-se o hidrograma triangular de entrada (Fig. 2). Como o presente estudo destina-se a pequenos lotes residenciais, pode-se simplificar as estimativas de tempo de pico (t_p) e de tempo

de base (t_b), ambos dados em função do tempo de concentração (t_c) (TUCCI, 1998), Eq. 7 e 8.

$$T_p = t_c \quad (7)$$

$$t_b = 2 \cdot t_c \quad (8)$$

Onde

t_p = tempo de pico (min);

t_c = tempo de concentração (min);

t_b = tempo de base (min).

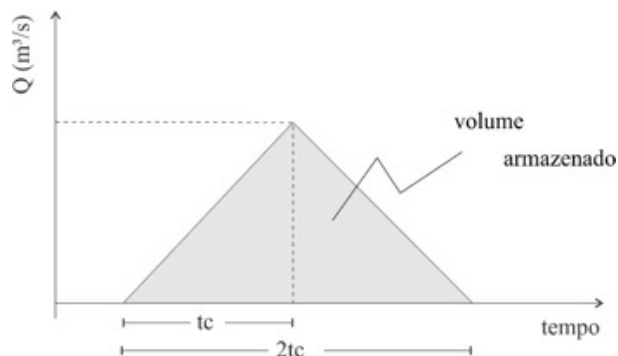


Figura 2 - Hidrograma
Fonte: Adaptado de Recesa (2007)

O volume armazenado no reservatório é determinado pela Eq. 9.

$$vol = \frac{t_b \cdot Q_{e,máx}}{2} \quad (9)$$

Onde

vol = volume de armazenamento (m^3);

$Q_{e,máx}$ = vazão máxima de entrada (m^3/s);

t_b = tempo de base (s).

dade de execução de todas as três técnicas compensatórias nas mesmas.

A equação IDF de Rio Paranaíba, MG, Eq. 10, foi obtida com o software Pluvio 2.0, o qual informa os parâmetros característicos da região por meio de interpolação dos dados de chuva por meio do Método do Inverso da Quinta Potência da Distância, considerando as informações de todas as localidades em que a equação IDF é conhecida no estado. A respectiva curva (Fig. 6) foi obtida pelo Excel 2013.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A classificação das residências consoante ABNT 12721:2006 está disposta na Tabela 3. Em casos de igualdade entre os parâmetros utilizados, quantidade de dormitórios e área real, considerou-se como predominante esta última.

De acordo com o descrito na Tabela 2 e considerando todas as restrições impostas pela Tabela 1 atendidas, foram definidos o dimensionamento para as três residências, constatando a viabili-

$$i = \frac{1472,679 \times T^{0,175}}{(t + 15,594)^{0,765}} \quad (10)$$

Onde

i = intensidade pluviométrica (mm/h);

T = tempo de retorno (anos);

t = duração da chuva, em (minutos).

Para todas as estruturas de infiltração determinou-se um intervalo de tempo de análise da

precipitação de 30 minutos, pois a partir dele foi possível observar melhor as mudanças da diferença entre a lâmina d'água e a infiltração. As curvas envelope foram plotadas até o instante em que a vazão de saída superasse o valor da lâmina de chuva. Com isso, foi obtido o volume armazenado por cada técnica, o que também foi feito para o reservatório individual. Já para avaliar a viabilidade de cada técnica, repetiram-se os cálculos para T de 2 e 10 anos. E, para classificar a técnica como viável ou não, analisou-se a compatibilidade do volume necessário de armazenamento com a área disponível no lote e o comportamento da infiltração da água no intervalo de tempo. Este último se torna preocupante quando a lâmina de escoamento segue crescendo, dada a baixa infiltração em uma longa duração de chuva, o que indica a incapacidade do solo de infiltrar essa água, não sendo propício para a técnica em questão.

A análise das três técnicas considerou que as mesmas receberão todo o escoamento gerado pela área dos telhados de cada lote, e a ligação entre estrutura e telhado se dará de maneira direta, ou seja, a água oriunda do telhado será direcionada sem derivações para a estrutura. As dimensões da superfície das trincheiras de infiltração e dos poços de infiltração foram determinadas com auxílio do programa AutoCAD, de acordo com o espaço máximo disponível para as estruturas na residência com área mais limitante. Como o Projeto B é o lote com menor área disponível para as técnicas, foi tido como referência para a determinação das dimensões das estruturas. Já a profundidade das estruturas de infiltração foi dada de acordo com valores usuais da literatura, distintos para cada técnica, seu máximo desempenho e distância segura do lençol freático. Em seguida, cada técnica foi dimensionada para cada casa, adotando-se as mesmas dimensões iniciais (Tabela 4).

Tabela 4 - Dimensões das estruturas.

Dimensão	Trincheira de Infiltração	Poço de Infiltração
Largura/Diâmetro (m)	0,60	0,60
Comprimento (m)	4,25	-
Profundidade (m)	3,50	7,00
Volume (m ³)	8,93	1,98

Já os reservatórios foram definidos de acordo com os volumes comerciais disponíveis e os volumes requeridos pelo dimensionamento, ou seja, avaliando o volume necessário a ser comportado pela estrutura, analisou-se a disponibilidade no mercado de um reservatório o satisfaça, estipulando-se um máximo de 10.000 litros, e admitindo-se apenas o uso de 1 reservatório.

4.1 Projeto A

A residência presente no projeto A possui uma área de telhado de 53,80 m². Como o coeficiente de escoamento adotado foi 1,00, essa mesma área se torna a área efetiva de escoamento das águas pluviais. Como apresentado na Fig. 3 (a), na trincheira de infiltração obtém-se que esta estrutura receberá um volume de 3.797,58 litros de água. Como o volume que a estrutura comporta pelas suas dimensões é de 8,93 m³, ela comportaria bem a citada lâmina máxima. Por conseguinte, seu tempo de esvaziamento será de 6,45 horas.

No dimensionamento do poço de infiltração, Fig. 3 (b), ele receberá um volume máximo de 5.208,59 litros de água, ou seja, 5,21 m³. Seu tempo de esvaziamento previsto será de 19.94 horas.

Por outro lado, analisando o reservatório individual, Fig. 3 (c), a água escoada exigirá um reservatório que comporte um volume de 876,00 litros. Analisando comercialmente, é um volume viável, uma vez que um reservatório/cisterna com capacidade de 1.000,00 litros atenderia à residência.

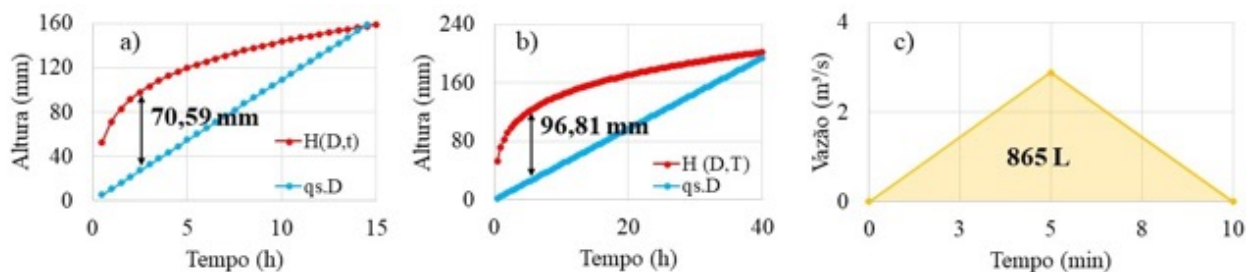


Figura 3 - Dimensionamento projeto A. Em (a) trincheira de infiltração, (b) poço de infiltração, (c) reservatório.

4.2 Projeto B

A residência presente no projeto B possui uma área de telhado de 92,27 m². Assim como no anterior, ela representa a área efetiva de escoamento das águas pluviais. Analisando a trincheira de infiltração, Fig. 4 (a), nota-se que essa estrutura receberá um volume máximo de 8.086,00 litros de água, ou seja, 8,09 m³, que seriam comportados pelo volume disponível na estrutura. A previsão do tempo de esvaziamento estimado será de 13,73 horas.

No dimensionamento do poço de infiltração, Fig. 4 (b), ele receberá um volume máximo de 10.745,42 litros de água, 10,75 m³. A previsão de seu esvaziamento é de 41,13 horas.

Como mostrado na Fig. 4 (c), a água escoada por essa área exigirá um reservatório que comporte um volume de 1.483,53 litros. Baseando-se no mesmo critério que no projeto anterior, um reservatório comercial de 1.500,00 litros atenderia à residência.

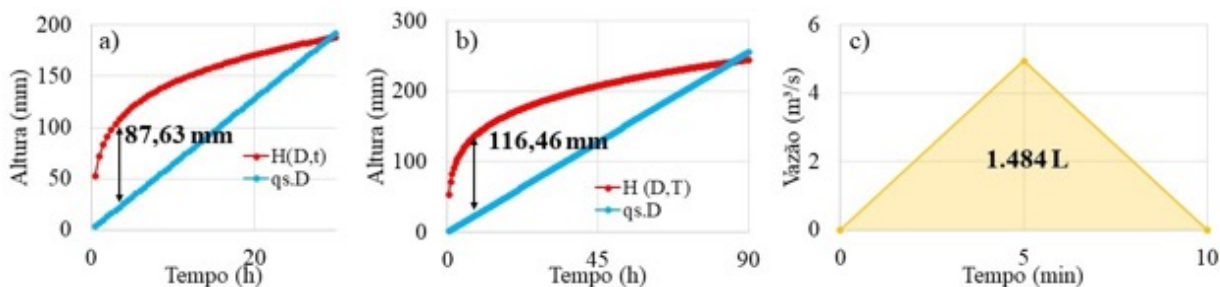


Figura 4 - Dimensionamento projeto B. Em (a) trincheira de infiltração, (b) poço de infiltração, (c) reservatório individual.

4.3 Projeto C

A residência presente no projeto C possui uma área de telhado de 266,35 m², representando também o valor da área efetiva. Como mostrado na Fig. 5 (a), a trincheira de infiltração receberá um volume máximo de 33.642,06 litros de água, ou seja, 33,64 m³, que ultrapassa mais de duas vezes o volume da estrutura. A previsão de seu esvaziamento é de 57,11 horas.

O dimensionamento do poço de infiltração, Fig. 5 (b), evidencia um volume máximo de 43.589,00 litros de água. A previsão de esvaziamento da estrutura é de 166,84 horas.

E, por fim, a água escoada por essa área exigirá um reservatório que comporte um volume de 4.282,40 litros, sendo comportado por um reservatório de volume comercial de 5.000,00 litros.

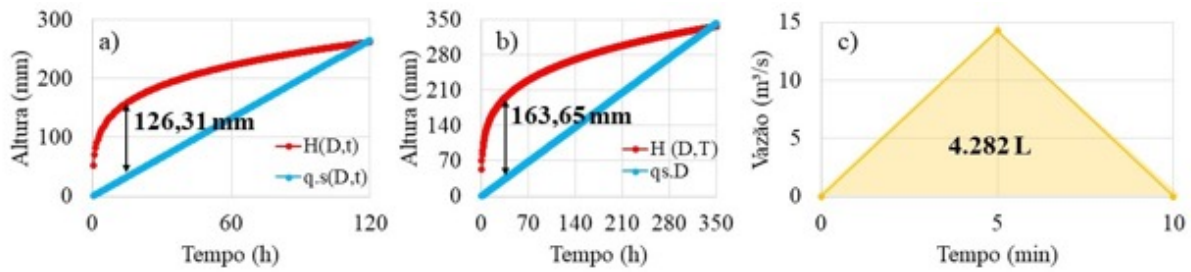


Figura 5 - Dimensionamento projeto C. Em (a) trincheira de infiltração, (b) poço de infiltração, (c) reservatório individual.

A Fig. 6 resume o dimensionamento de todas as estruturas, apresentando os volumes armazenados

por cada uma das estruturas, em cada projeto e em tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos.

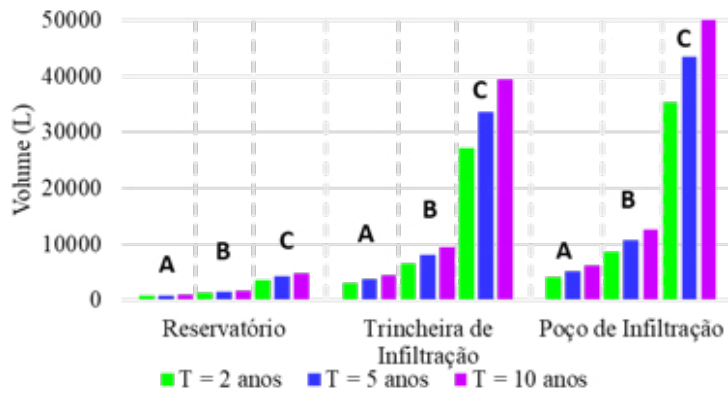


Figura 6 - Volumes armazenados. Em que A, projeto A, B, projeto B e C, projeto C.

A Fig. 7 evidencia os tempos de esvaziamento das estruturas, e a Tabela 5 o resumo sobre a análise de viabilidade de cada uma delas.

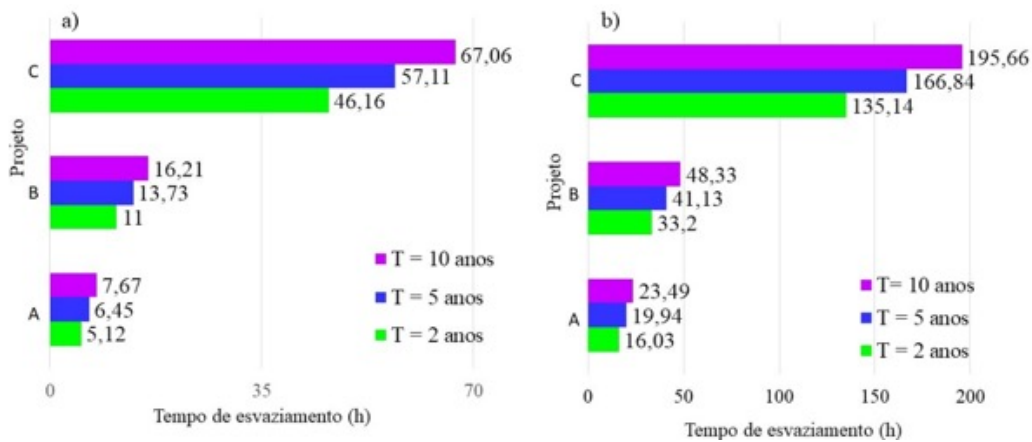


Figura 7 - Tempos de esvaziamento. Em (a) trincheira de infiltração, (b) poço de infiltração

Tabela 5 - Viabilidade em ampla análise.

Projeto	Trincheira de Infiltração	Poço de Infiltração	Reservatório
A	Viável	Viável	Viável
B	Viável	Inviável	Viável
C	Inviável	Inviável	Viável

A trincheira de infiltração se mostrou viável para qualquer tempo de retorno para os projetos A e B, porém inviável para o projeto C, uma vez que os tempos de esvaziamento das técnicas ultrapassaram o valor de 24 horas e/ou os volumes a serem recebidos pelas estruturas superaram o valor de 10.000 litros, enquanto o poço de infiltração se mostrou viável para qualquer tempo de retorno apenas para o projeto A, onde seus volumes máximos requisitados não ultrapassaram os limites de volume e tempo de esvaziamento; para os demais projetos a estrutura se tornou inviável, por ultrapassar esses valores. O reservatório, por sua vez, mostrou-se viável em todos os riscos hidrológicos analisados e em todos padrões residenciais. No projeto de padrão popular, um reservatório de 1.000 litros atenderia a qualquer tempo de retorno; no de baixo padrão, um reservatório de 2.000 litros o faria, e no de alto padrão, um reservatório de 5.000 litros.

Diante dos projetos obtidos para o referido estudo, observou-se que quanto maior a área construída, maior o percentual de área impermeável para o projeto de maior padrão. Tal aspecto ocasionará maior geração de escoamento superficial, exigindo maior capacidade e controle das estruturas compensatórias, caso sejam aplicadas na fonte. Isto é corroborado pelo fato de a maioria das técnicas dimensionadas não atenderem ao projeto de alto padrão, por não comportarem o volume de água escoado pela área de telhado da residência. Nesses casos, são indicadas técnicas compensatórias que prevejam áreas verdes, podendo ser áreas gramadas, pavimentos permeáveis ou até mesmo jardins. Essas áreas funcionariam como um meio intermediário, pelo

qual a água escoaria antes de atingir as estruturas em si, e, assim, ela teria uma taxa de seu volume infiltrado antes de chegar ao reservatório, trincheira ou poço de infiltração. Por outro lado, as residências de menor padrão mostraram uma gama maior de adaptabilidade às técnicas compensatórias de manejo de águas pluviais analisadas na cidade em questão, sendo um ponto positivo, uma vez que os respectivos proprietários tendem a possuir um poder aquisitivo menor, e essa adaptabilidade desvalida esse parâmetro como um impeditivo à adoção das técnicas.

5 CONCLUSÃO

As estruturas dimensionadas neste trabalho trazem, além dos benefícios voltados à atenuação da influência de áreas impermeáveis no ciclo hidrológico das bacias urbanas, vantagens secundárias. Como exemplo disso podemos citar a economia de água potável, uma vez que as águas pluviais têm aptidão para serem usadas em diversas atividades não potáveis, como jardinagem, lavagem de automóveis e áreas molhadas, podendo até ser interligadas ao sistema hidráulico residencial e servir como água de descarga, trazendo consequentemente, economia monetária.

É interessante que, em trabalhos futuros, as técnicas compensatórias, aplicadas na cidade de Rio Paranaíba sejam implantadas com uma conexão parcial ou com desconexão. Isto é, que haja uma região intermediária, uma área verde por onde a água possa escoar antes de chegar ao reservatório, trincheira ou poço de infiltração. Assim, as águas de chuva escoariam de maneira natural e apenas o seu excedente seriam recebidos pela técnica. Dessa maneira, a capacidade de armazenamento requerida se reduz. Em adição, seria interessante adotar uma análise temporal dos eventos de chuva e de infiltração, para uma melhor análise do desempenho das estruturas compensatórias.

6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceituação: Menezes Filho FCM; **Metodologia,** Souza LFM e Menezes Filho FCM; **Investigação:** Souza LFM; **Redação – Primeira versão:** Souza LFM e Menezes Filho FCM; **Redação – Revisão & Edição:** Fava MC, Silveira A, Menezes Filho FCM e Souza LFM; **Supervisão:** Menezes Filho FCM.

7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, B. G. **Manual de métodos de análise de solo: porosidade.** Brasília, DF, 212. pp. 2017

ANDREOTTI, M., PASSOS E CARVALHO, M., MONTANARI, R., BASSO, F. C., PARIZ, C. M., AZENHA, M. V., VERCESE, F. Produtividade da soja correlacionada com a porosidade e a densidade de um latossolo vermelho do cerrado brasileiro. **Ciência Rural**, 40(3), 520-526. 2010 <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000032>

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios.** ABNT NBR 12721, 91 pp. 2006.

BAEK, S., LIGARAY, M., PYO, J., PARK, J., KANG, J., PACHEPSKY, Y., CHUN, J. A., CHO, K. H. Produtividade da soja correlacionada com a porosidade e a densidade de um latossolo vermelho do cerrado brasileiro. **Journal of Hydrology**, 586. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124886>

BAPTISTA, M., NASCIMENTO, N., BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana.** Porto Alegre, 318 pp. 2015.

CHRISTOFIDIS, D., ASSUMPÇÃO, R. S. F., KLIEGERMAN, C. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Saúde Debate**, 43(3), 94-103. 2019. <https://doi.org/10.1590/0103-11042019S307>

DAEE/CETESB **Drenagem urbana: manual de projeto.** Departamento de Águas e Energia Elétrica e Companhia de Tecnologia de Saneamento. 492 pp. 1980.

DIAS, G. E. L. **Estudo de viabilidade de reservatórios coletivos no amortecimento de vazões de pico em drenagem de águas pluviais para um condomínio em Curitiba - PR.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) . Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 85 pp. 2015.

GRAZIERA, L. **Influência da ocupação urbana no escoamento superficial: estudo de caso em Piracicaba-SP.** Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) . Universidade Pontifícia Católica de Campinas, Campinas, 51 pp. 2021.

HAMEDANI, A. S. Improving the treatment performance of low impact development practices – comparison of sand and bioretention soil mixtures using column experiments. **Water**, 13(1210). 2021. <https://doi.org/10.3390/w13091210>

FRANCISCHET, M. M. Análise do efeito dos reservatórios domiciliares no escoamento superficial urbano, com inserção parcial da água precipitada, pela estimativa de vazões geradas em uma área urbanizada hipotética. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió, Brasil. 2013. **Anais...**

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010.** 2021 Acesso em 27 de maio de 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/snig/v1/?loc=0,0U&cat=-1,-2,-3,128,129&ind=4710>

JR, A. A. O., MEDIONDO, E. M. Metodologia para cálculo de eficiência de técnicas compensatórias em lote urbano. **Revista Internacional de Ciências**, 5(1), 29-41. 2015. <https://doi.org/10.12957/ric.2015.16582>

KRAFT, B., TEGETMEYER, H.E., SHARMA, R., KLOTZ, M.G., FERDELMAN, T.G., HETTICH, R.L., GEELHOED, J.S., STROUS, M. The environmental controls that govern the end product of bacterial nitrate respiration, **Science**, 345(6197), 676-679. 2014. <https://doi.org/10.1126/science.1254070>

MATTA, G. V., PEIXOTO L. Avaliação da implementação conjunta de telhados verdes e microreservatórios domiciliares em área urbana de Belo Horizonte (MG). In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Florianópolis, Brasil. 2017. **Anais...**

MELO, M. C., GUIMARÃES, L. M., MELO, E. L., SILVA, P. C., DRUMOND, L. C. D. Determinação da função de condutividade hidráulica de um latossolo do cerrado. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, 4(3). 2018. <https://doi.org/10.18540/jcecvl4iss3pp0327-0333>

NETO, J. B., RABELO, G. C., VENDRAMIM, C. V., BOINA, W. L. O., FREIRE, R. Potencial de poluição difusa originado pelas águas pluviais escoadas em porção urbana de bacia hidrográfica. **Revista Aidis**, 13(2), 350-366. 2020. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2020.13.2.67265>

NUNES, D. M., ALVAREZ, M. G. L., JR, A. A. O., SILVA, L. P. Aplicação das técnicas compensatórias no controle dos escoamentos superficiais: estudo de caso em loteamento residencial em Jacarepaguá, Rio de Janeiro. **Revista Internacional de Ciências**, 7(1), 3-21. 2017. <https://doi.org/10.12957/ric.2017.21887>

PEITER, T. V., POLETO, C. Estudos dos efeitos de trincheiras de infiltração sobre o escoamento superficial. **Revista de Estudos Ambientais**, 14(2), 57-67. 2012. <http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2012v14n2p56-66>

PINTO, N. L. S., HOLTZ, A. C. T., MARTINS, J. A., GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**, São Paulo, 305 pp. 1976.

ReCesa **Águas pluviais: técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas: guia do profissional em treinamento: nível 2 e 3**. 52pp. 2007.

POLETO, C. SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems): uma contextualização histórica. **Revista Thema**, 8(1). 2011. Acesso em 27 de maio de 2021. Disponível em: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/38>

PONTELO, L. H. B. S. **Elaboração de Perfis Geológico-Geotécnicos com vista ao Planejamento Urbano e Aplicação em Fundações para a Cidade de Rio Paranaíba - MG**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa – Campus Rio Paranaíba, Rio Paranaíba, 62 pp. 2017.

REIS, R. P., ILHA, M. S. O. Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva. **Ambiente Construído**, 14(2), 79-90. 2014. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000200006>

REYNOLDS, W. D., ELRICK, D. E. In situ measurement of field-saturate hydraulic conductivity, sorptivity, and the α -parameter using the Guelph permeameter. **Soil Science**, 140(4), 292-302. 1985.

RIBEIRO, K. D., MENEZES, S. M., MESQUITA, M. G. B. F., SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras (MG). **Engenharia Rural**, 31(4), 1167-1175. 2007. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000400033>

RIGHETTO, A. M. **Manejo de Águas Fluviais**. Rio de Janeiro, 396 pp. 2009.

SOTO, M. A., CHANG, K. H., VILAR, O. M. Análise do método do permeâmetro de Guelph na determinação da condutividade

hidráulica saturada. **Revista Águas Subterrâneas**, 23(1), 137-152. 2009. <https://doi.org/10.14295/ras.v23i1.17004>

SOUZA, C. et al. The public health perspective. **Water** 21, 40-43. 2009.

SOUZA, V. C. B. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial**. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 151 pp. 2002.

THORUS ENGENHARIA. **Aproveitamento de água de chuva: sinônimo de sustentabilidade**. 2022. Acessado em 04 de março de 2022. Disponível em: <https://thorusengenharia.com.br/sistema-aproveitamento-de-agua-da-chuva-sustentabilidade-tipos-funcionamento-vantagens>

TIRPAK, R. A. Hydrologic impacts of retrofitted low impact development in a commercial parking lot. **Journal of Hydrology**, 592. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125773>

TUCCI, C. E. M. **Drenagem Urbana**, Porto Alegre, 155-163. 1998.

UN, UNITED NATIONS. **Popular statistical tables, country (area) and regional profiles**. 2021. Acesso em 10 de novembro de 2021. Disponível em: <http://data.un.org/en/reg/g1.html>

WELERSON, C. C., SILVA, B. C. Análise do impacto do crescimento urbano em uma micro bacia hidrográfica no município de Itajubá/MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 12(3), 1114-1131. 2019.

WHITE, I., SULLY, M. J. Macroscopic and microscopic capillary length and time scales from field infiltration. **Water resources research**, 23(8), 1514-1552. 1987. <https://doi.org/10.1029/WR023i008p01514>