SISPRED 2023
XV SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS
BOAS PRÁTICAS, INOVAÇÃO, DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE
19 E 20 DE OUTUBRO DE 2023 - JOINVILLE - SC

CONTROLE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM LOTEAMENTO URBANO POR EMIO DE POÇOS DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL

Control of runoff in urban allotments by stormwater infiltration dry-wells

Tales Dias Aguiar [1]; Ricardo Padro Abreu Reis[2]

Recebido em 25 de abril de 2023, aprovado em 05 de julho de 2023, publicado em 19 de outubro de 2023

Palavras-chave:
Stormwater
Poço de infiltração
Drenagem na fonte
Cheias urbanas

Keywords:
Stormwater
Dry-Well
Source Drainage
Urban flooding

RESUMO: O processo crescente de urbanização intensifica a impermeabilização das superfícies das cidades resultando em impactos no balanço hídrico e elevação das ocorrências de cheias urbanas. Este fenômeno está associado ao aumento do volume de escoamento superficial e redução do tempo de concentração, que resulta em picos mais elevados de vazão na bacia de contribuição. Os sistemas de drenagem na fonte visam reestabelecer ou preservar o balanço hídrico nas áreas edificadas, promovendo a retenção ou detenção da pluviometria incidente. Assim, utilizando um loteamento hipotético foram avaliados 4 cenários de implantação do loteamento considerando diferentes implantações de poços de infiltração de águas pluviais nas áreas edificadas e cenários de referência (terreno natural e urbanizado sem drenagem na fonte). Os poços de infiltração foram implantados individualmente e coletivamente e comparou-se a redução de pico de vazão e de aumento de tempo de concentração notando-se que a implantação coletiva teve maior eficiência de infiltração do escoamento, diminuindo o volume escoado, e que os poços de infiltração individuais foram os que mais diminuíram a vazão de pico.

ABSTRACT: The growing process of urbanization intensifies the waterproofing surfaces of cities resulting in impacts on the water balance and increase of urban flooding. This phenomenon is associated with a runoff increase and a concentration time reduction, which results in higher flow peaks in the contribution basin. Source drainage systems aim to reestablish or preserve the water balance in built-up areas, promoting the retention or detention of incident rainfall. Thus, using a hypothetical urban allotment, 4 implementation scenarios were evaluated, considering different installations of dry-wells in built-up areas and reference scenarios (natural and urbanized land without any drainage system). The dry-wells were implemented individually and collectively and the reduction in peak flow and increase in concentration time was compared. It was noted that the dry-wells collective implementation had a greater impact on runoff control, reducing the flow volume more efficiently, and that the dry-wells implemented individually in the lots were the ones that most decreased the peak flow.

CONTATO DOS AUTORES:

[1] **AGUIAR, Tales Dias**: Eng. Civil, doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Goiás (PPGCIAMB – UFG), tales_aguiar@hotmail.com.

[2] **REIS, Ricardo Prado Abreu**: Eng. Civil, Doutor, Docente da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás (EECA – UFG), ricardo_reis@ufg.br

1 INTRODUÇÃO

A população mundial continua crescendo, passando de 2,6 bilhões de pessoas em 1950 para expectativas de 8,5 bilhões em 2030 e 9,7 bilhões em 2050 (ONU, 2022), com essa tendência sendo acompanhada pelo Brasil, estipulando-se uma população total de 225 milhões de pessoas em 2030 (IBGE, 2022). Concomitantemente, o processo histórico de ocupação do solo através dos movimentos de êxodo rural com instalação da população em zonas urbanas fez com que houvesse um aumento significativo da impermeabilização do solo natural desses locais, devido à mudança da densidade habitacional dos municípios, sendo que se estimava que uma pessoa contribuía com 50 m² de área impermeável nos anos 90 para 90 m² nos anos 2000 (Menezes Filho e Tucci, 2012).

Tal situação altera o ciclo hidrológico das cidades, e com toda essa mudança, as discrepâncias entre as vazões de previstas e as vazões reais acontecem cada vez com mais diferenças e com mais frequência, incorrendo em cheias urbanas (Tucci, 2013). Enquanto em um solo natural a parcela de escoamento superficial seria em torno de 10%, para uma superfície com grau de impermeabilização de 75 a 100%, têm-se um escoamento superficial elevado para 55% do evento chuvoso (Muth *et al.*, 2016). Assim, o aumento da impermeabilização das áreas urbanas, com o aumento da área urbana, provoca um aumento do escoamento superficial, incorrendo em cheias urbanas maiores, sendo necessário, portanto, sistemas convencionais mais robustos, eficientes e onerosos para coleta dessa vazão de escoamento superficial gerada. Em uma realidade onde ainda há necessidade de universalização do sistema de drenagem urbana por falta de recursos, ter que se fazer com estruturas cada vez mais robustas, para comportar os crescentes picos de vazão da bacia, deixa mais distante ainda esse objetivo.

Como alternativa para amenizar ou até mesmo evitar os efeitos deletérios causados pela impermeabilização cada vez maior das superfícies urbanas no sistema de drenagem convencional, existem os sistemas de drenagem na fonte, também conhecidos como medidas compensatórias de controle de escoamento superficial. Esta prática promove, por meio da implantação de soluções de detenção e retenção de água pluvial, o armazenamento, a redução de vazão de pico ou a infiltração da água de chuva interceptadas dentro do próprio limite das áreas edificadas, diminuindo assim a descarga total a ser conduzida pelo sistema de drenagem urbano convencional, além de diminuir os picos de vazão (ARAUJO, 2010). Dentre as inúmeras possíveis estruturas usadas para se implementar um sistema de drenagem na fonte em áreas edificadas, o poço de infiltração ganha notoriedade por ser uma solução que têm uma construção relativamente simples, pontual e integra a detenção e a retenção de água pluvial, além de promover a recarga do lençol subterrâneo por meio da infiltração. Os poços de infiltração são amplamente utilizadas na região metropolitana de Goiânia – GO, fazendo com que se tenha a expertise na utilização dessa solução (Reis, 2005).

Nesse contexto, esse trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de poços de infiltração quanto à redução do escoamento superficial em quatro cenários de implantação de um loteamento hipotético.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para determinar o escoamento superficial gerado pelo evento chuvoso de modo a conseguir avaliar o desempenho dos poços de infiltração na redução do volume e dos picos de escoamentos retidos e propagados por um loteamento, é necessário definir parâmetros de

projeto, estando estes relacionados ao solo do loteamento no que tange à infiltração, declividade de terreno e tamanho da bacia, bem como intensidade pluviométrica da região, coeficientes de rugosidade devido à urbanização, tempo de retorno e definições relativas aos métodos utilizados (Figura 1). O loteamento, objeto deste estudo, é composto por 20 lotes onde apresenta-se um percentual de 4,34% de calçamentos em concreto, 6,51% de arruamento asfáltico, 72,32% de área impermeável dentro dos lotes, relativo à cobertura da casa, 16,83% de área permeável, já contando as áreas comuns. A declividade média do loteamento foi adotada em 7% após análise das cotas do mesmo, e foi respeitado dentro de cada lote o mínimo de 15% conforme legislação municipal de Goiânia. O lote 20 que é o exutório dessa bacia será utilizado como ponto de área permeável, com implantação de uma praça totalmente permeável, e, também, será ponto de instalação de estruturas de microdrenagem coletiva. O ponto mais desfavorável foi considerado no lote 9 para cálculo de tempo de concentração. A chuva de projeto foi determinada através da equação de chuva proposta por Costa e Prado (2003) com tempo de retorno maior que 8 anos, sendo os valores dos parâmetros da equação apresentados no Quadro 1, equivalente a uma intensidade pluviométrica 170,18 mm/h.

Quadro 1 – Parâmetros da chuva de projeto

Parâmetros de Goiânia	
α	0,14710
b	0,01
c	1,00
B2	0,07

Fonte: Costa e Padro (2003)

Figura 1 – Fluxograma de pesquisa



Fonte: Autores

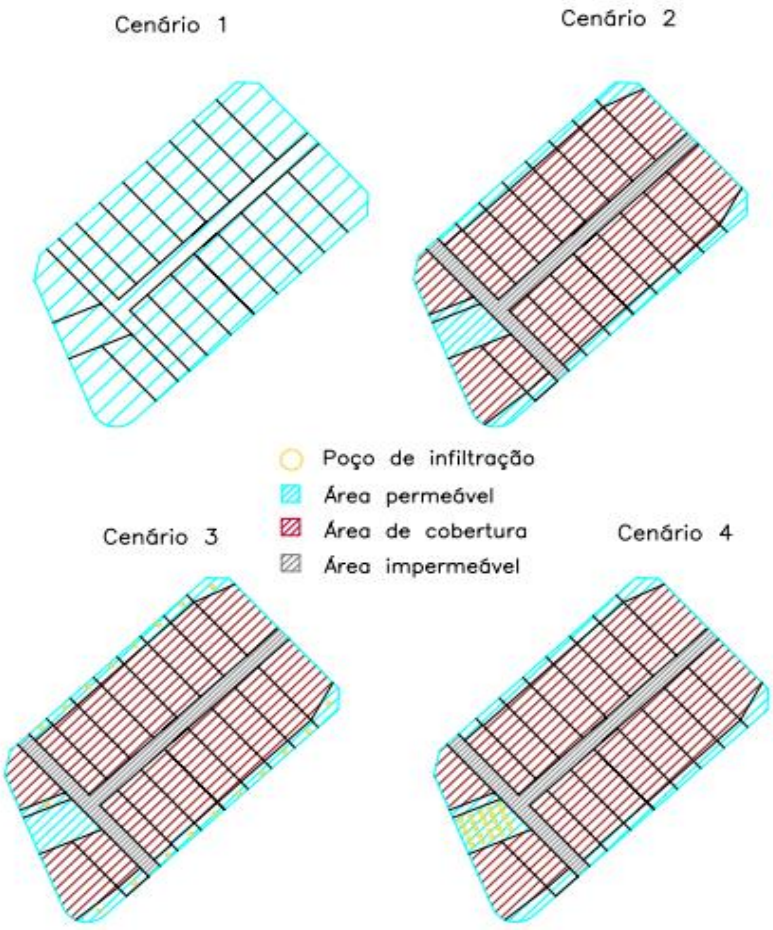
Os quatros cenários estudados estão mostrados na Figura 2, passando de um cenário do loteamento com a sua vegetação natural (Cenário 1) para um cenário com a urbanização máxima permitida dentro dos lotes em três possibilidades: sem drenagem na fonte (Cenário 2), com drenagem na fonte de forma individual (poços de infiltração dentro de cada lote - Cenário 3) e com drenagem na fonte de forma coletiva (poços de infiltração no lote 20 - Cenário 4). Foi considerada uma cobertura padrão em todos os lotes de 8 m x 20 m, com 50 cm de calhas. Valendo-se dos valores do *coeficiente de manning* de Brow *et al*. (2001), e retirando-se os demais dados do próprio loteamento, construiu-se o Quadro 2.

Quadro 2 – Parâmetros da bacia do loteamento

Caminhamento	Material	n *Manning*	Comprimento (m)	Declividade (m/m ou %)
Telhado	Cerâmica	0,015	7,00	0,30
Calhas	Concreto	0,012	20,00	0,01
Tubo de queda	Ferro fundido	0,015	3,00	1,00
Calçada da Casa	Concreto	0,012	22,50	0,07
Calçada passeio	Concreto	0,012	86,70	0,07
Via asfaltada	Asfalto	0,011	85,30	0,07
Lote 20	Grama bermuda	0,41	20,00	0,07

Fonte: Autores

Figura 2 – Cenários de implantação do sistema de microdrenagem no loteamento



Fonte: Autores

Para análise desses cenários deve-se calcular o escoamento superficial. O tempo de concentração foi calculado como escoamento normal (*sheet flow*) (Brow *et al*., 2001) com tempo de retorno escolhido de 10 anos, que é maior do que o padrão aplicado na região, para conseguir verificar o desempenho com maiores incidências pluviométricas. O hidrograma foi fabricado utilizando o método NCRS (Costa *et al.*, 2007) transformando o hidrograma triangular em um hidrograma em curva transformado para produção do hietograma, com solo de qualidade B. Ainda, há considerações como: solo do loteamento homogêneo e taxa de infiltração constante e igual $2{,}655.10^{-4}$ m³/m²/s (Reis, 2005).

A avaliação do controle de escoamento superficial foi feita analisando o volume reduzido e o amortecimento dos picos de vazão do escoamento após utilizar os poços de infiltração nos Cenários 3 e 4. Considerou-se afastamento entre poços e estruturas de divisa do lote e as casas de 1,5 m no cenário 3, e afastamento de 3 m entre poços de infiltração no lote 20 do cenário 4, respeitando, analogamente a NBR 7229 (ABNT, 1993), que versa sobre sumidouros para infiltração de esgoto tratado. As dimensões dos poços de infiltração foram feitas considerando 4 possibilidades, para reter 25%; 50%; 75% e 100% da água gerada pelo telhado padrão, observando a profundidade máxima de 1,5 metros, camada de brita de 30 cm, e porosidade de 40%. Apesar da água a ser infiltrada nos poços só poder ser proveniente dos telhados, o Cenário 4 teve também contribuição do escoamento do arruamento e do calçamento. Os cenários tiveram os seus hidrogramas comparados para demonstração da amortização do pico de vazão. Especificamente no cenário 4, houve cinco possibilidades de implantação de poços de infiltração: cinco poços coletivos de 2,20 m de diâmetro, dois poços circulares coletivos 6,40 m, um poço circular de 12 m de diâmetro, um poço cúbico e um poço prismático (acompanhando o lote).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O hidrograma da Figura 3 demonstra o aumento de pico de vazão e a diminuição do tempo de concentração da bacia do loteamento após urbanização (Cenário 2) em comparação com o escoamento no estado natural do mesmo (Cenário 1) e o abrandamento do pico de vazão e o maior espaçamento do escoamento no Cenário 3. O Quadro 2 apresenta os valores dos parâmetros utilizados para confecção do hidrograma pelo modelo do NCRS comparando o Cenário 1 e 2, sendo a diminuição do tempo de concentração da bacia explicado pela mudança do substrato de grama para superfícies impermeabilizadas. Por fim, o Quadro 3 mostra os valores dos parâmetros utilizados nos Cenários 3 e 4 em comparação com o Cenário 2.

Figura 3 – Hidrograma comparativo do Cenários 1, Cenário 2 e Cenário 3

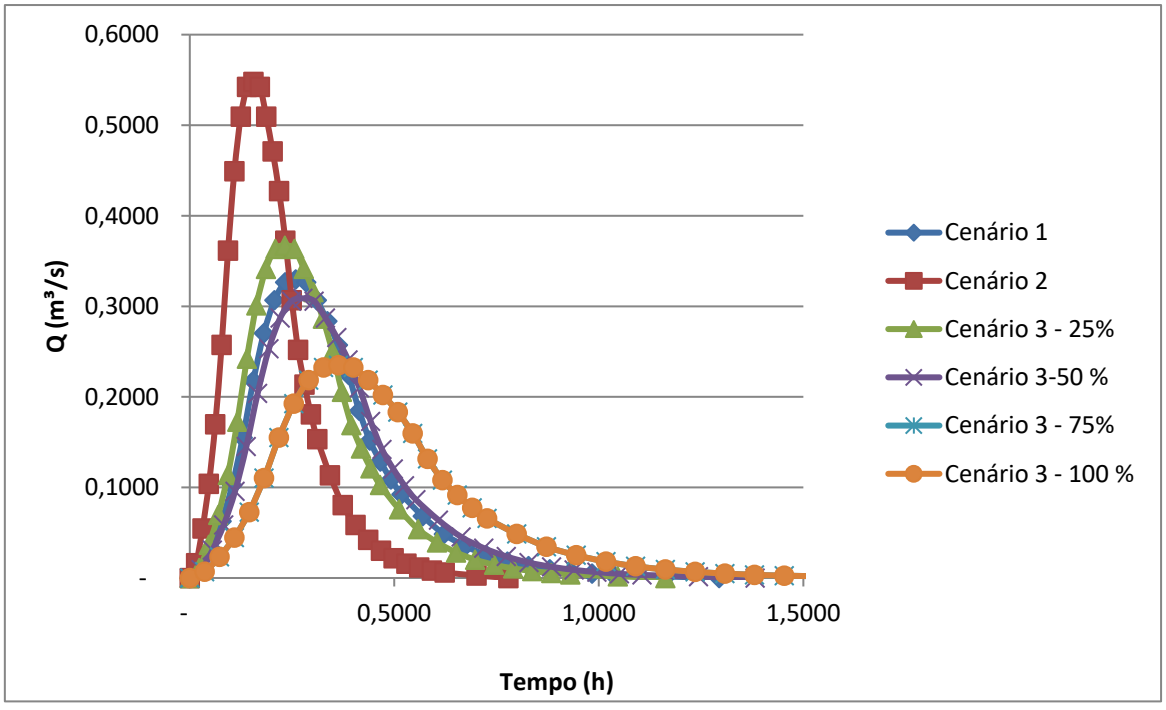
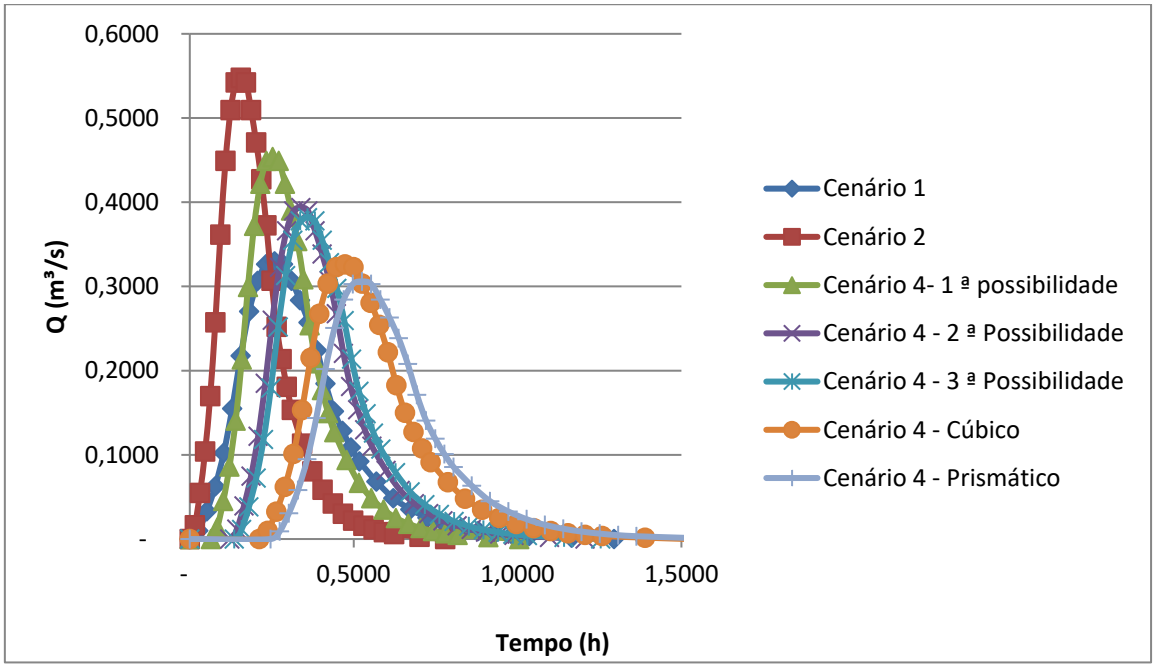


Figura 4 – Hidrograma comparativo do Cenários 1, Cenário 2 e Cenário 4



O cenário 2 teve o menor tempo de concentração, enquanto o cenário 3 com a condição de poços de infiltração com 25% do escoamento do telhado e no cenário 4 com poços circulares, apresentaram tempos de concentração menores do que com o loteamento com ocupação virgem. Além disso, todos cenários demonstraram aumento do tempo de concentração após a drenagem na fonte em comparação com o cenário 2 (drenagem convencional). Ainda, os maiores tempos de concentração encontrados foram para o cenário 3 com 75% e 100% de volume de retenção, com os poços individuais nos lotes.

Quadro 2 – Parâmetros do hidrograma do NCRS para cenário 1 e 2

Cenário	Tempo de pico (min)	Redução Tp (%)	Tempo de base (h)	Redução Tb (%)	Vazão de pico (m³/s)	Aumento (%)
1	15,53	0	41,47	0	0,33	0
2	9,35	39,81	24,96	39,81	0,55	66,14

Quadro 3 – Parâmetros do hidrograma do NCRS para cenário 3 e 4

Cenário	Tempo de pico (min)	Aumento (%)	Tempo de base (h)	Aumento (%)	Vazão de pico (m³/s)	Redução (%)
2	9,35	-	24,96	-	0,55	-
3 - 25%	13,95	49,24	37,25	49,24	0,37	32,99
3 - 50%	16,59	77,40	44,28	77,40	0,31	43,63
3 - 75%	21,80	133,20	58,21	133,20	0,23	57,12
3 100%	21,80	133,20	58,21	133,20	0,23	57,12
4- 1ª Poss.	11,29	20,74	30,14	20,74	0,45	17,18
4- 2ª Poss.	13,01	39,14	34,73	39,14	0,39	28,13
4- 3ª Poss.	13,42	43,54	35,83	43,54	0,38	30,33
4- Cúbico	15,70	67,94	41,92	67,94	0,33	40,45
4- Prismático	16,74	79,09	44,71	79,09	0,31	44,16

Complementarmente à análise de redução do pico de vazão, é interessante verificar qual a parcela de infiltração que cada cenário apresentou com a implantação dos poços de infiltração, estando demonstrados no Quadro 4. A maior parcela de infiltração ocorreu com os sistemas coletivos em formato cúbico e prismático por conta da maior superfície de contato.

Quadro 4 – Eficiência de infiltração do escoamento gerado

Cenário	Condição	Eficiência total (%)
3	25%	25,81
	50%	39,67
	75%	52,17
	100%	52,17
4	1ª Possibilidade	9,11
	2ª Possibilidade	30,01
	3ª Possibilidade	37,23
	Cúbico	73,35
	Prismático	84,96

4 CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que a urbanização de uma bacia que tinha vegetação natural incorre em aumento do volume de escoamento e da vazão de pico e que a implantação de sistemas de drenagem na fonte são uma solução para essa situação já que há diminuição da vazão de pico e o volume de descarga da bacia hidrográfica. Com os cenários desenvolvidos, nota-se que o cenário 4 apresentou maior infiltração do escoamento, contudo, foi o cenário 3 que demonstrou uma maior redução da vazão de pico.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio recebido de auxílio à pesquisa.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, A.G. **Análise do desempenho de poços de infiltração na cidade de Goiânia** –GO.2010.133 p. Dissertação. Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás.2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos.** Rio de Janeiro, 15, 1993.

BROWN, S. A.; STEIN, S. M.; WARNER, J. C.; Urban Drainage Design Manual: Hydrauic Engineering Circular 22, Second Edition. Colorado-EUA, 478 p, 2001.

COSTA, A. R. da; PRADO, L. A. Espacialização de chuvas intensas para o Estado de Goiás e o sul de Tocantins**. Revista Engenharia Agrícola**, 2003; 268-273.

COSTA, A. R. da; SIQUEIRA, E. Q. de; MENEZES FILHO, F. C. M. de; Curso Básico de Hidrologia Urbana: Nível 3. Brasília – DF. **ReCesa**, 2007, 130.

IBGE – Instituto brasileiro de geografia e estatística. **Censo demográfico 2022.** Disponível em: Panorama do Censo 2022 (ibge.gov.br)

MENEZES FILHO, F. C. M. de; TUCCI, C. E. M. Alteração na relação entre densidade habitacional x área impermeável. **REGA**, 2012; 49-55.

MUTH, C.; BRISON, L.; BERNHARDT, EMILY. Inquiry-based exploration of human impacts on stream ecosystems: The Mud Creek case Study. Disponível em: <http://www.learnnc.org/lp/editions/mudcreek/6394>Acesso em: 29/06/2016, às 11:45.

ONU Organização das Nações Unidas. 2022. ONU NEWS: Perspectiva Global Reportagens Humanas: População Mundial. Disponível em: https://news.un.org/pt/tags/populacao-mundial. Acessado em 07 de outubro de 2023.

REIS, R. P. A. **Proposição de Parâmetros de Dimensionamento e Avaliação de Desempenho de Poço de Infiltração de Água Pluvial**. 2005. 174 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - CEMEC) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO. 2005

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. In: TUCCI, Carlos E. M.; BERTONI, Juan Carlos (Org.) Inundações Urbanas na América do Sul. **ABRH,** 2013; 11-44.