

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Lucas Almeida Queiroz de Moraes

**ANÁLISE DOS EFEITOS DA IMPERMEABILIZAÇÃO DO
SOLO URBANO: comparativo entre áreas gramadas e
pavimentadas**

Taubaté – SP
2019

Lucas Almeida Queiroz de Moraes

**ANÁLISE DOS EFEITOS DA IMPERMEABILIZAÇÃO
DO SOLO URBANO: comparativo entre áreas gramadas
e pavimentadas**

Trabalho de graduação, modalidade de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Taubaté para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Orientador: Prof. Me. Leonardo do Nascimento Lopes

Taubaté – SP

2019

Sistema Integrado de Bibliotecas SIBi/UNITAU
Biblioteca Setorial de Gestão e Negócios/Civil

M827a Moraes, Lucas Almeida Queiroz de
Análise dos efeitos da impermeabilização do solo urbano: comparativo
entre áreas gramadas e pavimentadas / Lucas Almeida Queiroz de
Moraes. - 2019.
52f.:il.

Monografia (graduação) - Universidade de Taubaté, Departamento de
Engenharia Civil, 2019.
Orientação: Prof. Me. Leonardo do Nascimento Lopes, Departamento
de Engenharia Civil.

1. Impermeabilização do solo. 2. Infiltração. 3. Pavimentos.
4. Sistemas de drenagem. I. Título.

CDD 624.1514

LUCAS ALMEIDA QUEIROZ DE MORAES
ANÁLISE DOS EFEITOS DA IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO URBANO:
COMPARATIVO ENTRE ÁREAS GRAMADAS E PAVIMENTADAS

Trabalho de graduação, modalidade de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Taubaté para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Orientador: Prof. Me. Leonardo do Nascimento Lopes

Data: 26 de novembro de 2019

Resultado

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Leonardo do Nascimento Lopes

Universidade de Taubaté

Assinatura_____

Prof. Dr. Ademir Fernando Morelli

Universidade de Taubaté

Assinatura_____

Eng^a. Christianne Ap. de Azevedo Nogueira Costa

Assinatura_____

RESUMO

Este trabalho apresenta impactos, produzidos pela impermeabilização do solo urbano, propostas para a atenuação destes e um experimento mostrando um comparativo entre a permeabilidade de superfícies gramadas e pavimentadas. Com diversos danos ambientais sendo evidenciados pela impermeabilização do solo urbano, verificou-se a necessidade de se entender a raiz do problema, assim como levantar propostas para a solução ou diminuição dos danos gerados. Tem-se por objetivo evidenciar o comportamento de dois tipos de pavimentos quanto à infiltração de água no solo. O trabalho contou com o aprofundamento teórico do tema, por meio de pesquisas secundárias e a realização de um experimento. Com esta publicação, constatou-se que terrenos com superfície gramada têm permeabilidade mais eficiente do que em solos totalmente pavimentados e a impermeabilização, em excesso, pode saturar os sistemas de drenagem. Com este trabalho de graduação, espera-se que a temática da impermeabilização de solos urbanos tenha sido elucidada, assim, incentivando cada vez mais a inserção de novos tipos de sistemas de drenagem, para que centros urbanos possam ter parte de sua permeabilidade recuperada, proporcionando menos inundações e problemas de caráter hídrico.

Palavras-chave: Impermeabilização do solo. Infiltração. Pavimentos. Sistemas de drenagem.

ABSTRACT

This work presents impacts produced by the waterproofing of the urban soil, proposed for their attenuation and an experiment showing a comparison between the permeability of grass and paved surfaces. With several environmental damages being evidenced by the waterproofing of the urban soil, there was a need to understand the root of the problem, as well as to raise proposals for the solution or reduction of the damage generated. The objective is to highlight the behavior of two types of pavements regarding the infiltration of water in the soil. The work had the theoretical deepening of the subject, through secondary research and the accomplishment of an experiment. With this publication, it has been found that grassy surface land has more efficient permeability than fully paved soils and over-sealing can saturate drainage systems. With this undergraduate work, it is expected that the theme of waterproofing urban soils has been elucidated, thus increasingly encouraging the insertion of new types of drainage systems, so that urban centers can have part of their permeability recovered, providing less flooding and water problems.

Keywords: Soil sealing. Infiltration. Floors. Drainage systems.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVOS	8
2.1 Objetivos específicos	8
3. REVISÃO DE LITERATURA	9
3.1. Processo de urbanização e conseqüente impermeabilização do solo	9
3.2. Solos urbanos	10
3.3. Impermeabilização dos solos	11
3.4. Impactos da impermeabilização do solo	12
3.5. Ciclo da água	12
3.6. Escoamento Superficial	13
3.7. Evapotranspiração	14
3.8. Vazões de pico	14
3.9. Infiltração de água no solo	15
3.10. Drenagem Urbana	15
3.11. Inundação	16
3.12. A problemática das inundações em áreas urbanas	19
3.13. Métodos Mitigadores	19
3.13.1. Não estruturais	19
3.13.2. Estruturais	20
4. MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1. Caracterização da área do experimento	30
4.2. Procedimento	31
4.3. Materiais	31
4.4. Método	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5.1. Pote contendo grama (permeável)	40
5.2. Pote contendo gesso (impermeável)	41
5.3. Comparativo entre os potes contendo grama e gesso	42
6. CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1. INTRODUÇÃO

Com a falta de planejamento durante o processo de urbanização, que foi intensificado a partir da década de 60, algumas cidades brasileiras enfrentam atualmente altos índices de impermeabilização do solo. A população presente hoje em áreas urbanas chega a 84,72% enquanto os outros 15,28% residem em área rural segundo o PNAD – Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios, realizado no ano de 2015. A urbanização traz consigo a necessidade de estruturar as novas áreas de ocupação humana, assim, estradas, ruas, rodovias e residências, transformam locais que antes eram áreas de infiltração de água em áreas impermeáveis.

A impermeabilização acarreta diversas alterações em nosso meio natural, o ciclo da água é perturbado gerando aumento do escoamento superficial e das vazões de pico, o que tem grande influência na infiltração de água no solo, já que ela não tem tempo nem espaço disponível para penetrar no terreno. A impermeabilização afeta também na qualidade e disponibilidade da água destinada a consumação humana.

O principal e mais recorrente transtorno ligado à impermeabilização do solo é a incidência de inundações e alagamentos, que são evidenciados na estação chuvosa brasileira, que ocorre no verão do hemisfério sul (meses de dezembro a março), e geram de perdas materiais a danos incalculáveis, como degradações ambientais e perda de vidas. A ocorrência deste problema está ligada a falha na drenagem urbana, que é saturada pelo aumento do escoamento superficial gerado em consequência da baixa absorção de água pela superfície.

Em território brasileiro, o principal método de drenagem urbana é o “Higienista”, alternativa já considerada obsoleta e antiquada, já que não resolve o problema em si, apenas o transfere a outro local. Tucci (2005) afirma que o atual momento das discussões focadas em de sistemas de drenagem, tem se aproximado de uma visão sustentável, com o intuito de recuperar áreas de infiltração e assim fazer com que exista significativa melhora na atenuação de problemas gerados pela impermeabilização em conjunto da deficitária drenagem atualmente empregada em nossos municípios.

Métodos estruturais e não estruturais podem ser empregados no desenvolvimento de um projeto eficiente de drenagem. As medidas não estruturais se aplicam em forma de programas e leis orientando os malefícios da ocupação de áreas inundáveis, outro item é a educação ambiental, que também tem grande efetividade quando realizada. As medidas estruturais, são obras de engenharia que ajudam a melhorar o escoamento de água durante principalmente as

precipitações mais fortes. Dentro deste contexto, pretende-se com esse trabalho apresentar como a impermeabilização do solo ocorreu no Brasil, expor seus principais problemas e propor medidas mitigadoras visando a melhora nos índices de infiltração da água no solo para que haja menos interferência antrópica no ciclo da água gerando assim, maior eficiência inclusive da drenagem em áreas de maior urbanização, fato esse, de grande ajuda para a diminuição de desastres ligados à inundações.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho de graduação é analisar os efeitos da impermeabilização do solo urbano e, por meio de um experimento, comparar duas amostras de diferentes superfícies. Um exemplar contém grama e outro gesso, simulando a pavimentação presente em centros urbanos. O comparativo deve mostrar como cada área reage quando em contato com a água, para a verificação de sua permeabilidade ou não.

2.1 Objetivos específicos

- Mostrar como a impermeabilização do solo ocorreu no Brasil;
- Apresentar os problemas decorrentes da impermeabilização do solo;
- Levantar e expor medidas mitigadoras visando a melhora nos índices de infiltração da água no solo para que haja menos interferência antrópica no ciclo da água gerando assim, maior eficiência inclusive da drenagem em áreas de maior urbanização, fato esse, de grande ajuda para a diminuição de desastres ligados à inundações.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Processo de urbanização e consequente impermeabilização do solo

No Brasil, com a intensificação do êxodo rural entre as décadas de 1960 e 1980, a ocupação do solo em áreas urbanas se deu de forma descontrolada, muitas vezes sem planejamento algum, fazendo com que a densidade populacional nesses locais tivesse aumento significativo. Em nosso país, os dados mais recentes no que se refere a população urbana e rural são do ano de 2015 da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - (PNAD) e indicam que 84,72% da população habita área urbana e 15,28% área rural, já na década de 60, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - (IBGE), 44,67% da população residia em zona urbana enquanto 55,33% em zona rural, dados que exemplificam o crescente processo de urbanização ocorrido através das décadas em território brasileiro.

Com a transição de diversas famílias do meio rural ao urbano e a ocupação sem planejamento, diversos problemas foram ocasionados, dentre os mais frequentes podemos citar, a sobrecarga de sistemas de drenagem, impermeabilização e menor infiltração de água no solo, perda de cobertura vegetal causada por obras de infraestrutura urbana (pavimentação de ruas, avenidas, rodovias, etc.), além do aumento na geração de resíduos que se não recolhidos de modo correto, causam a obstrução dos elementos do sistema de drenagem (bueiros, bocas de lobos, canais de drenagem e outros itens).

Segundo Santos, Rufino e Barros Filho (2015), com essa nova característica de adensamento populacional urbano, os órgãos da esfera nacional, estadual e principalmente municipal devem exercer papel de orientação no uso e ocupação do solo, levando em consideração parâmetros urbanísticos como: Gabarito, afastamento, taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, taxa de permeabilidade e em conjunta ação, zoneamento urbano do local. Para Souza (2009) a implementação de planos diretores se deu principalmente nas décadas de 80 e 90 em território brasileiro, o autor ainda afirma que a regulamentação dos parâmetros que condicionam a ocupação do solo e a implementação dos mesmos mostrará se os planos são eficazes ou não para as cidades.

De acordo com Fontes (2003) a urbanização provoca intensas alterações no uso do solo e consequentemente na hidrologia da área em questão, aumentando o escoamento superficial e

diminuindo a infiltração, ocasionando por diversas vezes transbordamentos de corpos hídricos que recebem as precipitações pluviométricas.

Hall (1984) afirma que o aumento das áreas que passaram processos de urbanização acaba provocando transformações, desequilíbrios e uma enorme descaracterização do sistema hídrico de toda a região em questão.

3.2. Solos urbanos

Com o avanço tecnológico, a humanidade passou a modificar elementos da natureza. A falta de planejamento na ocupação das áreas urbanas faz com que o ambiente seja degradado, tornando a recuperação do local mais difícil e cara. Dentre os vários elementos urbanísticos, o solo é um dos mais impactados pela urbanização (PEDRON et al., 2007).

Os solos presentes em áreas urbanas são constituídos por diversos processos antrópicos. Segundo Effland e Pouyat apud JUNIOR (2008), com a alteração da função ecológica do solo é facilitado o processo de impermeabilização.

Segundo Curcio et al. (2004) pela vasta modificação resultante da natureza variada de seus componentes, é normal que os solos urbanos possuam características diversificadas e com grande variabilidade espacial.

Para Pedron et al. (2004) as principais funções exercidas pelo solo urbano são suportar e prover matéria prima para obras, sustentar agriculturas urbanas, suburbanas e áreas verdes, filtrar a água provenientes de precipitações e acolher resíduos descartados.

Com a urbanização, o solo acaba por ser compactado, reduzindo a porosidade e de forma consequente a infiltração de água. Pedron et al. (2004) afirma que a falta de planejamento durante o processo de urbanização potencializa alterações morfológicas, erosão, compactação e a poluição.

Em grandes cidades, a taxa de impermeabilização média é de 70%, dificultando o cumprimento dos processos do ciclo hidrológico, causando anomalia na dinâmica hídrica destes locais.

3.3. Impermeabilização dos solos

Para Gronstein (2001) o modelo de urbanização brasileiro é insustentável, pois diversos aspectos envolvendo a construção das cidades interferem nos espaços físicos, que por sua vez mostra diferentes níveis de condições socioeconômicas já que a maior parte dos municípios brasileiros apresentam de forma muito bem definida, bairros nobres e regiões periféricas.

Os problemas ambientais, na maioria das vezes tem incidência em áreas marginalizadas, também descritas como “cidade informal”, e variam de questões de saúde pública a enchentes, assoreamento de corpos hídricos, erosões e desmoronamentos.

Das tantas modificações realizadas no ambiente urbano, uma das mais evidentes é a impermeabilização do solo. A impermeabilização era tida como uma das principais estratégias de higienização e saneamento básico.

Tucci (2009) afirma que as principais consequências da impermeabilização, são inundações e deslizamentos em perímetro urbano, já que com a diminuição de áreas verdes disponíveis, a capacidade de infiltração da água no terreno é diminuída e a capacidade de escoamento acrescida, visto que a utilização de condutos promove a rápida movimentação de fluido pela superfície do terreno. Tais fatores fazem com que a precipitação ocorrida no ambiente urbano seja destinada a corpos hídricos de maior dimensão, que podem não ter capacidade de receber todo o volume gerado pelas chuvas. A impermeabilização esta diretamente ligada a expansão de áreas urbanas e em consequência, a aparição de fenômenos como assoreamento e inundações são potencializados.

No perímetro urbano os solos perdem grande capacidade de absorção, pois materiais impermeabilizantes são utilizados em larga escala. Tucci e Collischonn (2000) afirmam que tal acontecimento pode ocorrer de diferentes maneiras. No processo de urbanização de determinada área o solo passa por intenso revolvimento e é quase completamente coberto por impermeabilizantes, elevando as taxas erosivas, e emitindo muitos sedimentos. Com o processo de impermeabilização sendo concluído, a emissão de sedimentos é reduzida e estabilizada, mas o ciclo hidrológico acaba por ser descaracterizado. Em áreas onde o solo não é totalmente impermeável, o perfil hidrológico do local também sofre descaracterização, pois o revolvimento e a degradação antrópica acabam por expor as camadas mais internas do solo, dificultando a penetração da água.

Para Gonçalves e Paiva (2004) a cobertura vegetal pode melhorar o ciclo hidrológico, pois intercepta a chuva, reduzindo o escoamento superficial e facilitando a infiltração da água.

Quando as áreas não pavimentadas são pequenas em comparação a áreas totalmente pavimentadas, a arborização tende a ter uma contribuição menor nos processos de escoamento superficial e infiltração. Quanto a interceptação das precipitações e a evapotranspiração, deve-se dar valor ao tamanho do indivíduo arbóreo assim como a configuração de sua copa.

3.4. Impactos da impermeabilização do solo

A impermeabilização do solo causa impactos em diversos âmbitos de nossa sociedade. A construção de ruas, estradas e rodovias seguidas da pavimentação buscando estruturar o ambiente urbano faz com que o solo seja coberto por uma camada pela qual a água não consegue adentrar, isso faz com que lençóis freáticos tenham dificuldade em se recarregar diminuindo a quantidade e a qualidade hídrica.

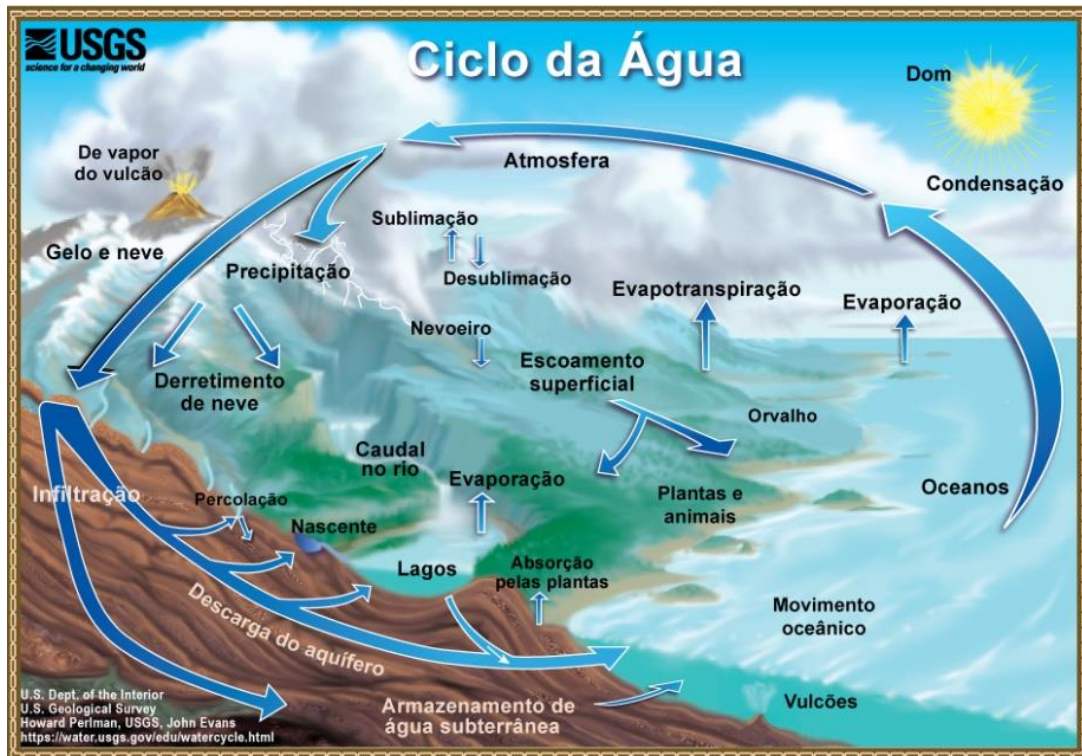
Todo esse fluido que não penetra no solo faz com que o escoamento superficial aumente e conseqüentemente ocorra uma alta nas vazões de pico. Esse fator faz com que as redes de drenagem cheguem à saturação em épocas de chuvas intensas, causando inundações geralmente a jusante do sentido do fluido escoado.

Este desastre tem como produto, degradações ambientais e da estrutura urbanística das cidades, perdas da fauna e flora locais, além da veiculação de doenças hídricas, como a leptospirose.

3.5. Ciclo da água

Em um ambiente sem intervenções antrópicas, o ciclo da água seria composto por oito fases, sendo elas: precipitação, interceptação, evaporação, evapotranspiração, infiltração e escoamento superficial e subterrâneo. Tal ciclo tem início na evaporação de águas vindas do oceano, o vapor é levado por meio de massas de ar. A condensação do vapor gera nuvens que podem ou não resultar em precipitações. As precipitações podem ocorrer de três maneiras, sendo elas: Chuva, granizo ou neve. Após a precipitação, a maior parte da mesma escoou ou adentra ao solo e uma pequena quantidade sofre evapotranspiração, assim, voltando à atmosfera. Ciclo da água, mostrado na Figura 01.

Figura 01 – Ciclo da água



Fonte: John M. Evans/USGS-USA Gov. (2019).

Com a grande demanda de obras de construção civil para a adequação de infraestrutura à população urbana, este ciclo sofre com alguns distúrbios, o principal deles é na fase de escoamento superficial.

3.6. Escoamento Superficial

Para Martins (1976) as chuvas, são em grande parte absorvidas pela vegetação e posteriormente sofrem evaporação. Quanto a parte que é destinada ao solo, uma porção é infiltrada e outra se acumula em depressões do terreno. Com os vazios do solo sendo preenchidos pelo líquido infiltrado, a capacidade de absorção de água não é impraticável, fazendo com que a água comece a escoar superficialmente.

Tal evento ocorre logo em seguida a precipitações e leva em consideração desde pequenos deslocamentos da água no solo, ocasionados por pequenas chuvas até deslocamentos de água em córregos, rios e ribeirões, etc.

Silva et al. (2005) diz que escoamento superficial pode abranger tanto o excesso de precipitação causado por uma chuva de grande intensidade que sofre deslocamento no solo

(impermeabilizado ou não), quanto o escoamento de um rio, alimentado por precipitação pluviométrica ou águas de lençóis freáticos. Então, as condições de escoamento superficial sofrem muito quando um solo que antes permitia a infiltração da água, não mais permite, por se encontrar impermeabilizado.

O escoamento superficial pode ser tido como a fase mais relevante do ciclo hidrológico para a vida humana, já que estuda os deslocamentos hídricos superficiais, que estão diretamente ligados ao nosso aproveitamento de água para consumo, assim como na geração de danos e desastres ambientais, por exemplo, erosão do solo e inundações.

Inicialmente, o escoamento superficial é apenas uma pequena lâmina d'água, conforme a precipitação vá ocorrendo, a espessura desta lâmina sofre determinado aumento, até que haja um estado de equilíbrio.

O escoamento superficial é influenciado por fatores climáticos, como intensidade e duração da chuva, assim como chuvas anteriores; Fisiográficos, como limites e formas da bacia hidrográfica, capacidade de infiltração e permeabilidade do solo e também à topografia local; Obras de caráter hidráulico, como canalizações, transposições e construção de barragens.

3.7. Evapotranspiração

Segundo as “Orientações sobre as melhores práticas para limitar, atenuar ou compensar a impermeabilização dos solos” da União Europeia (2012) a evapotranspiração nada mais é que o somatório da liberação de água evaporada da superfície terrestre em conjunto da transpiração de plantas que combinadas tem a atmosfera como destino.

3.8. Vazões de pico

Com o aumento da velocidade do escoamento superficial as vazões de pico também sofrem um aumento significativo. Pinto et al. (1976) define vazão como volume de água que entra em uma bacia hidrográfica por intervalo de tempo. Vazão de pico também pode ser chamada de vazão máxima. Tucci (2014) define que a vazão máxima de um corpo d'água está relacionado a possibilidade da mesma ser ultrapassada ou igualada, assim sendo necessário o conhecimento de recorrências de índices pluviométricos e tempos de retorno.

3.9. Infiltração de água no solo

Para Martins (1976), infiltração é o processo de penetração de água nas camadas de solo presentes no terreno, passando por meio dos vazios presentes, devido a ação da gravidade, até alcançar uma camada que retém o fluido, formando a água do solo.

A infiltração possui três fases, a de intercâmbio, de descida e de circulação. No intercâmbio, a água está perto da superfície do terreno, ainda podendo voltar a atmosfera por aspiração capilar, causada por evaporação ou então absorvida através das raízes, para depois ser transpirada pela planta.

Na fase de descida, o deslocamento da água é vertical e ocorre em razão de seu peso ser superior a adesão e a capilaridade. Tal fase ocorre até o fluido alcançar a parte do solo que é impermeável.

Onde estão presentes os lençóis subterrâneos é que ocorre a fase de circulação, justamente por haver um acúmulo de água, regido pela gravidade e leis de escoamento subterrâneo.

A diminuição da infiltração de água no solo também é outro fator muito relevante, já que o mesmo pode causar problemas no abastecimento de lençóis freáticos, o que levaria a redução na qualidade e disponibilidade de água para consumo humano e ainda uma sobrecarga dos sistemas de drenagem urbana, já que a maior parte dos projetos implantados segue o método tradicional de “simples escoamento a jusante” que destina a água para um único ponto, assim ocasionando problemas de inundação.

Mota (1997), afirma que a infiltração de água no solo tem contribuição direta na recarga e formação de aquíferos subterrâneos e que essa infiltração auxiliaria na diminuição de casos de inundação, já que o escoamento pluviométrico superficial seria reduzido.

3.10. Drenagem Urbana

A drenagem urbana é de suma importância para o bem-estar da população. Souza (2007) afirma que os sistemas de drenagem têm o intuito de propiciar escoamento pluvial eficiente, evitando assim prejuízos locais.

O método higienista de drenagem tem como princípio expulsar o mais rápido possível as águas pluviais. Essa expulsão se faz por meio da condução do fluido que percorre as sarjetas em direção a bueiros e logo em seguida caem nas tubulações, que destinam o líquido ao ponto

de menor cota topográfica (jusante), não sendo assim uma resolução de problema, mas sim a transferência do mesmo, já que outros pontos são impactados. A princípio esse modo de drenagem traz grande eficácia, mas com o desenvolvimento populacional e a maior ocupação do solo, o mesmo tende a se tornar obsoleto (KIPPER, 2015).

Segundo Pompêo (2000) somente no século XXI debates sobre o assunto foram tomados como itens de sustentabilidade e deixaram de ser somente estruturas construídas para transporte de água, sendo agora um conjunto de ações que visam diminuir o escoamento superficial, valorizando a maior disponibilidade de áreas de infiltração hídrica, seja em espaços públicos ou em lotes residenciais, com o intuito de atenuar os prejuízos que uma inundação possa causar.

Para Tucci (2005) essa nova fase que caracteriza o momento atual dos estudos acerca de “drenagem urbana” é tida como um período “sustentável” e seu principal ideal é a recuperação de áreas destinadas a infiltração de água no solo.

Os sistemas de drenagem também têm duas subdivisões, sendo elas microdrenagem e macrodrenagem, sendo definidas da seguinte forma:

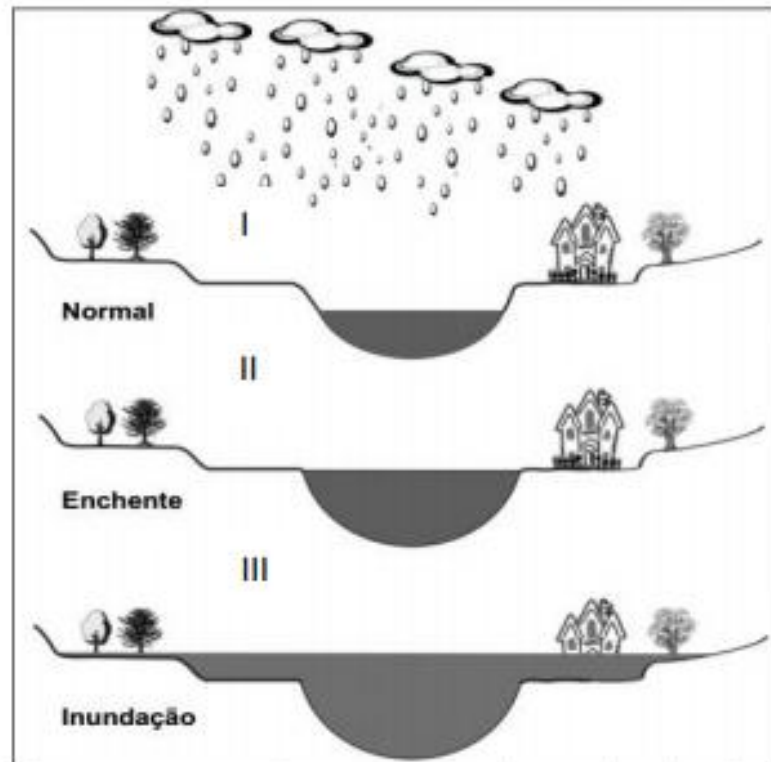
Microdrenagem: tipo de drenagem projetada pra recebimento de precipitações com riscos médios. Constituída por canais e sistemas de condutos pluviais inseridos em loteamentos ou então na rede primaria urbana. Sua maior função é coletar e conduzir água pluvial aos sistemas de macrodrenagem.

Macrodrenagem: agrega para si todos os sistemas de coletas presentes na microdrenagem. Tem função em áreas superiores a 400 ha. O sistema deverá ser executado para suportar precipitações que a microdrenagem não suportaria. Age em nível distrital ou então de microbacias, com o intuito de reduzir prejuízos humanitários e materiais.

3.11. Inundação

Inundação é definida por Veyret (2007), como o fenômeno onde o leito menor de um corpo hídrico não é capaz de conter o escoamento, conseqüentemente transbordando para o leito maior. Em consequência deste fenômeno, danos materiais, ambientais e inclusive casos de óbito podem ocorrer. Figura 02 mostrando os estados vistos em rios.

Figura 02 – Estado dos rios



Fonte: Goerl e Kobiyama, (s.d), (2005).

O item I apresenta o leito do rio como é normalmente, sem a influência de precipitações; no item II, é ilustrado um rio com volume até o nível de suas margens, mas sem que haja o transbordamento do mesmo; no item III é mostrada uma situação de inundação, visto que o rio ultrapassa sua calha regular.

Os problemas relacionados a inundações são classificados como tangíveis e intangíveis, diretos e indiretos. Os danos tangíveis são aqueles que podem ser calculados e recompensados financeiramente, já os intangíveis, são os relacionados a artefatos e construções históricas, objetos de valor sentimental e principalmente vidas, não sendo passíveis de mensuração. Danos diretos são os que ocorreram a partir do contato direto das águas de inundação com pessoas, objetos e construções, enquanto os indiretos acontecem em consequência dos diretos, como interrupção de serviços, atividades econômicas e sociais (CANÇADO, 2009).

Segundo a Superintendência de Proteção e Defesa Civil do Estado da Bahia (2015) as inundações podem ocorrer de dois modos: Repentinamente, bruscamente ou em forma de enxurradas e inundações de planícies ou lentas. O primeiro modo citado ocorre pela grande precipitação num curto espaço de tempo e são mais frequentes em rios e zonas de grande

declividade no relevo, a região Sul brasileira tem histórico de ocorrência frequente quanto a esse tipo de inundação. Nas inundações de planícies ou lentas, o volume de água se concentra e se mantém em situação de cheia durante certo tempo. Após esse período, o volume retido escoar de forma gradual. A elevação do nível das águas neste tipo de inundação ocorre de forma previsível e vagarosa, assim dificilmente causando danos intangíveis.

O órgão do Estado da Bahia cita que as inundações e alagamentos em zonas urbanizadas, são causados pelo acúmulo de líquido no leito de ruas e em perímetros urbanos, em decorrência de elevadas cargas de precipitação agregada a uma deficiência sistêmica na Micro e Macrodrenagem. Figura 03 mostrando inundação em Santa Catarina.

Figura 03 – Inundação m Santa Catarina em 2008



Fonte: Site culturamix (2008).

Conforme cita Pedrosa (1996) é verificado um aumento na incidência de doenças transmitidas por meio hídrico após casos de inundação, a mais recorrente é a leptospirose, que é transmitida através da urina do rato e que com transbordamentos tem seu alcance potencializado. O mosquito da dengue (*Aedes aegypti*) também é beneficiado com inundações, já que o acúmulo de água em poças d'água e em outros recipientes cria as condições adequadas para o inseto se reproduzir.

3.12. A problemática das inundações em áreas urbanas

Tucci (2014), diz que a enchente em área urbana é gerada de duas maneiras, que podem acontecer isolada ou simultaneamente: devido a grande urbanização de centros urbanos, fazendo com que ocorra a impermeabilização do solo em razão de processos de construção civil e também pela ocupação irregular de áreas ribeirinhas, fato que ocorre pela falta de planejamento do uso do solo. Aliado a esses itens, a intensidade da precipitação pluviométrica tem grande influência na ocorrência de inundações, já que dependendo da intensidade e duração da chuva, a água pode superar a calha dos rios, levando a água para áreas possivelmente ocupadas, gerando impactos sociais que podem ser imensuráveis.

Para o Ministério do Meio Ambiente (2014) enchentes são fenômenos naturais que acontecem de forma variável, principalmente no período das chuvas (verão brasileiro). O transtorno tem início com a ocupação irregular do leito dos rios, já que alguns corpos d'água passam anos sem que ocorra uma enchente, assim transmitindo a sensação de que o local é seguro para construção de um lar.

Com o solo sendo impermeabilizado, o escoamento da água é mais veloz devido a canalização dos fluxos por canais e condutos. As vazões acabam por chegar ao mesmo tempo ao sistema de drenagem, causando uma sobrecarga na mesma, assim, podendo provocar inundações, algo que não ocorreria caso houvesse uma área maior de infiltração, fazendo com que o fluido percolasse naturalmente no solo (Tucci e Bertoni, 2003).

3.13. Métodos Mitigadores

3.13.1. Não estruturais

Medidas não estruturais têm por objetivo agir de forma preventiva e em caráter extensivo, atingindo toda bacia hidrográfica a qual pertence. São ações tais como a criação de normas, programas e leis com o intuito de conscientizar a população quanto aos possíveis danos causados em decorrência da ocupação de áreas inundáveis. As medidas não estruturais são mais efetivas quando postas em comum ação de medidas estruturais (PINTO, 2011).

Os procedimentos mais realizados são atividades de educação ambiental visando controle de erosões, emissão de lixo e poluição difusa, assim como a geração e implantação de planos diretores, para que áreas impróprias não sejam ocupadas.

3.13.2. Estruturais

Em países escandinavos, buscando otimizar a infiltração de água na terra, ajudar no ciclo hidrológico e proporcionar um melhor aproveitamento de águas pluviais, foi desenvolvido o SUDS (Sustainable Urban Drainage System), que é a evolução do conceito tradicional de drenagem urbana, conceito este que prima por canalizar e destinar toda geração de efluentes e água proveniente de chuva para pontos específicos, assim somente transferindo possíveis problemas a outras destinações.

O SUDS é visto como uma ótima alternativa para atenuar os problemas ligados à sobrecarga causada no sistema de drenagem, principalmente em períodos e lugares onde os índices pluviométricos são altos, pois entre seus conceitos básicos é previsto um aproveitamento maior da água que seria apenas escoada a um determinado local, não percolando no solo. Dentre os principais tipos de sistemas de drenagem sustentáveis, podemos citar:

3.13.2.1. Pavimento permeável ou semipermeável

Para Ferguson (2005), pavimentos permeáveis ou semipermeáveis são os que possuem a capacidade de fazer com que a água infiltre no terreno onde o mesmo está disposto, fazendo com que o sistema de drenagem seja aliviado, conforme as Figuras 04 e 05.

Figura 04 – Pavimentos permeáveis: Piso intertravado



Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Figura 05 – Pavimentos permeáveis: Paralelepípedos



Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Vantagens: recarregam os lençóis freáticos, reduzem o escoamento superficial, filtram poluentes no decorrer do trecho onde é implantado, diminui os ruídos causados pela precipitação escoando e apresenta valor de implantação similar ao pavimento convencionalmente usado.

Desvantagens: pode causar a contaminação dos lençóis freáticos, necessita de mão de obra qualificada em sua implantação, manutenção periódica utilizando limpeza à vácuo e a indispensável inspeção regular visando a verificação de sua eficiência.

3.13.2.2. Reservatórios de detenção e retenção

Tem como objetivo armazenar águas pluviais por determinado período, assim diminuindo a incidência de danos ligados a inundação. Poletto e Tassi (2011) dizem que uma das grandes vantagens dos reservatórios de retenção, se dá pelo fato de que sua instalação pode ocorrer em áreas públicas de recreação sem causar poluição visual. Os reservatórios de detenção têm dificuldade em sua implantação pela necessidade de periódica manutenção, já que se não realizada, a eficácia do método é prejudicada. Nas Figuras 06 e 07 vemos reservatórios de Detenção e Retenção respectivamente.

Figura 06 – Reservatórios de Detenção



Fonte: Site portoalegre.rs.gov.br (2008).

Figura 07 – Reservatórios de Retenção



Fonte: Site engenheironaweb.com (2019).

Vantagens: podem ser instalados em locais públicos como quadras, parques e praças, sua instalação retêm grandes volumes de água, assim diminuindo a incidência de inundações.

Desvantagens: apresenta alto custo de implantação, necessita de manutenção periódica por ser fonte de possíveis problemas ligados à saúde pública além de reter uma grande quantidade de resíduos.

3.13.2.3. Trincheiras de infiltração

Tem estrutura linear, onde o comprimento é muito mais significativo em relação a largura, e sua função é proporcionar um amortecimento do volume hídrico causado por precipitações, para que assim haja mais tempo de infiltração da água no solo (AZZOUT et al., 1994; BALADES et al., 1998). Figura 08 representando um tipo de trincheira de infiltração.

Figura 08 – Trincheiras de infiltração



Fonte: app06.ottawa.ca (2019).

Vantagens: infiltra água da chuva, provocando redução no escoamento superficial, possibilita a diminuição das redes de drenagem a jusante das trincheiras (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005), fácil de se instalar, baixo custo de implantação e melhora a qualidade da água filtrada.

Desvantagens: pode ocorrer a colmatação da trincheira após anos de uso, a manutenção é necessária periodicamente, em determinados tipos de solo, sua eficiência pode ser reduzida e esta técnica pode contaminar lençóis freáticos.

3.13.2.4. Valas ou valetas de infiltração

Segundo Tucci (1998) estes dispositivos de drenagem são geralmente inseridos paralelamente às ruas, estradas, estacionamentos e condomínios. As valas ou valetas captam a pluviosidade de áreas próximas e servem como ponto de infiltração. Nas chuvas de maior intensidade, a água se acumula e permanece durante certo tempo, infiltrando numa velocidade menor. É necessário que o volume que essas valas abrangem seja grande o suficiente para evitar possíveis alagamentos. Valas ou valetas de infiltração a seguir, conforme Figura 09.

Figura 09 – Valas ou valetas



Fonte: Site avix.com.br (2019).

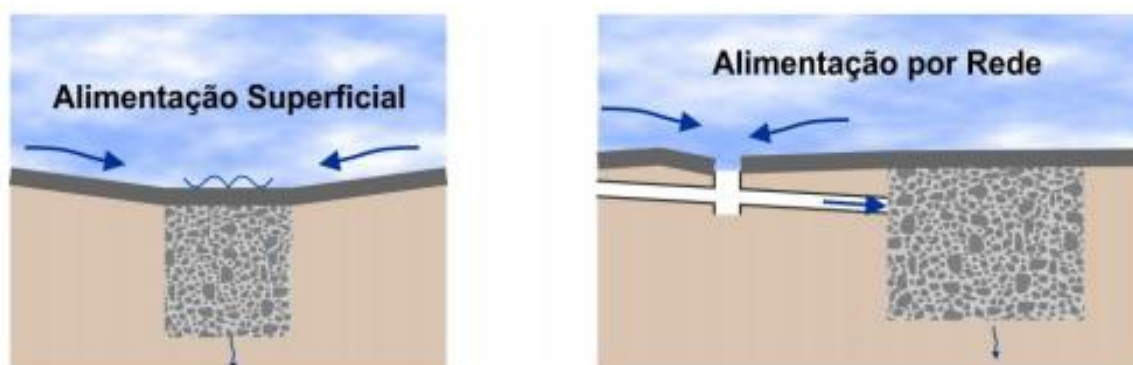
Vantagens: tem baixo custo e é de fácil instalação, promove a recarga de lençóis freáticos, aumenta o tempo de concentração do fluido escoado, assim diminuindo a taxa de escoamento superficial e retira os poluentes conforme escoam no solo.

Desvantagens: pode facilitar eventos de erosão, em solos com menor permeabilidade sua eficácia tende a ser menor, pode sofrer com entupimento e colmatação, tem necessidade de manutenção periódica e facilita o acúmulo de resíduos.

3.13.2.5. Poços de infiltração

Para Reis et al. (2008), os poços de infiltração são dispositivos pontuais que são adequados para a recepção do escoamento superficial gerados pelas chuvas e fazem com que a água infiltre de forma efetiva no solo. Figura 10 representando poços de infiltração.

Figura 10 – Poços de infiltração



Fonte: Adaptado de Baptista; Nascimento e Barraud (2005).

Vantagens: apresenta baixo custo e fácil instalação, recarrega o lençol freático e aumenta o tempo de concentração de água abatendo os picos de cheias.

Desvantagens: pode vir a ocorrer a colmatção dos poços, a manutenção do mesmo tem de ser periódica e tal método pode contaminar lençóis freáticos.

3.13.2.6. Telhados verdes

Os telhados verdes têm como principal função reduzir o escoamento superficial que poderia dar origem a inundações, ajudam na amenização do calor nos locais onde é implantado e é benéfico à fauna (COSTA et al., 2011).

Vilela (2005) diz que o telhado verde vem conquistando mais espaço na América latina, principalmente o México. Em território brasileiro a adesão a esse método é muito pequena, sendo mais comumente encontrado na região sul, fato que pode ser vinculado a grande imigração europeia do local, assim como o aspecto de maior conforto térmico causado pela cobertura vegetal dos tetos. Figuras 11 e 12 mostrando telhados verdes.

Figura 11 – Telhado verdes em uma residência



Fonte: Bigstock (2019).

Figura 12 – Telhado verdes em um edifício



Fonte: Site nossofoco.eco.br (2019).

Vantagens: sua implantação melhora na qualidade da água, promove a evapotranspiração e a água retida pode ter uso posteriormente.

Desvantagens: em certos casos é necessário um reforço estrutural na obra receptora deste método, área limitada (pequena) e possui baixa eficiência em precipitações de alta intensidade.

3.13.2.7. Faixas gramadas

As faixas de grama e com a presença de arborização, tem como função desacelerar e infiltrar de modo parcial os escoamentos laminares que provem das superfícies impermeáveis dos centros urbanos (SILVEIRA, 2002). Este sistema também pode ter função paisagística, mas são necessárias manutenções periódicas. Faixas gramadas conforme Figuras 13 e 14.

Figura 13 – Faixa gramada



Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Figura 14 – Faixa gramada e plantas ornamentais



Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Vantagens: diminuem o escoamento superficial, possuem função paisagística e dependendo de sua área, pode reduzir problemas como ilhas de calor.

Desvantagens: demanda grandes áreas para ser eficaz e sua manutenção, no caso roçada, é necessária periodicamente.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área do experimento

O município de Pindamonhangaba se encontra na região central do Vale do Paraíba Paulista, na porção leste do Estado de São Paulo, tendo coordenadas geográficas de latitude sul, 22°55'50" e longitude ocidental, 45°27'22". Possui duas serras em seus limites, serra da Cangalha e a serra da Mantiqueira, além de ser cortado pela Rodovia Presidente Dutra, que liga os municípios de São Paulo e Rio de Janeiro. Pindamonhangaba se encontra a 140 Km da capital paulista e a 260 Km da capital carioca (PREFEITURA MUNICIPAL DE PINDAMONHANGABA, 2019).

A experiência que mostra o comparativo entre o pote totalmente pavimentado (gesso) e o pote com grama, foi realizada na Avenida Monsenhor João José de Azevedo, número 460, no bairro do Crispim, visto na Figura 15.

Figura 15 – Delimitação da área onde foi realizado o experimento



Fonte: Google Earth, acesso em 02 de novembro de 2019.

4.2. Procedimento

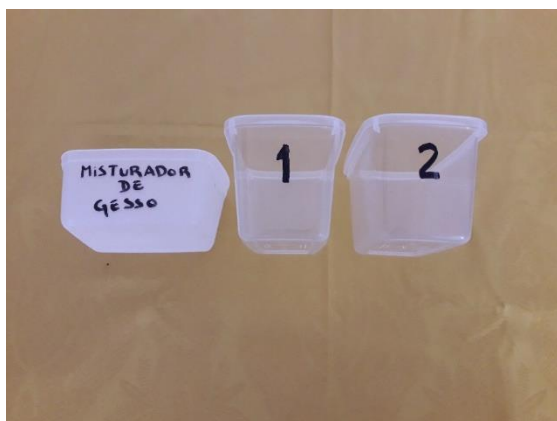
O principal intuito do procedimento é tornar visível a impermeabilização que o solo sofre em áreas totalmente pavimentadas e como, conseqüentemente, o sistema de drenagem é sobrecarregado por este impacto, é realizado um comparativo entre grama permeável e gesso impermeável (que nesse experimento age como pavimento), mostrando o quão considerável é a perda de penetração de água em terrenos completamente cobertos, sem nenhuma área de infiltração.

O experimento foi desenvolvido pela Universidade Federal do Paraná, pelo professor Marcelo Ricardo de Lima, que coordena o Projeto solo na escola UFPR e é quem nos apresenta os passos a serem seguidos. O ensaio foi gravado e publicado no canal do *Youtube* UFPR TV, em 29 de maio de 2017.

4.3. Materiais

Para a realização do experimento são necessários os seguintes itens:

Figura 16 – 3 potes plásticos



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Figura 17 – Faca de cozinha



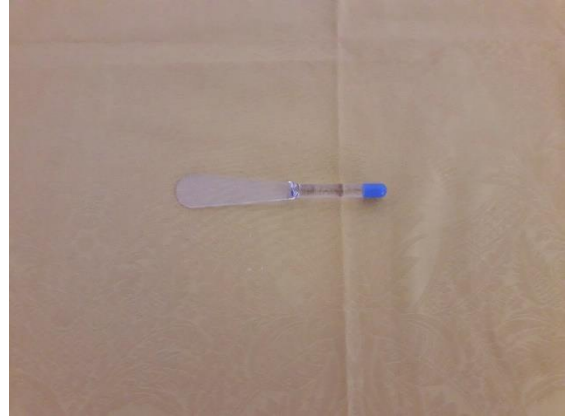
Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Figura 18 – Gesso



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Figura 19 – Espátula



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Figura 20 – Recipiente de líquido



Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Figura 21 – 2 bandejas de plástico



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Figura 22 – Água



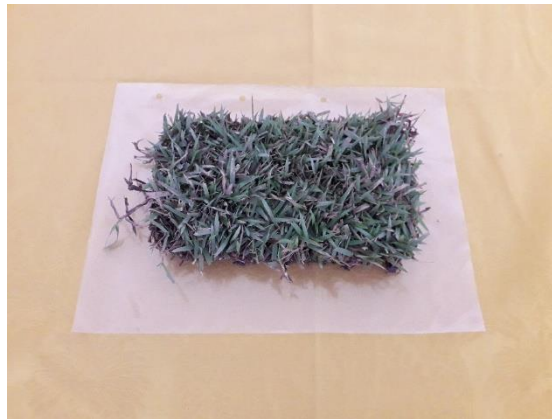
Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Figura 23 – Solo



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Figura 24 – 1 tufo de grama



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

4.4. Método

Para a eficiência nos dados gerados pelo procedimento de verificação de impermeabilização do solo, as seguintes etapas foram seguidas:

Foi necessária a inserção de solo triturado nos 2 potes, de modo uniforme, fazendo com que suas superfícies ficassem em níveis semelhantes, conforme a Figura 25.

Figura 25 – Potes com solo triturado



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Após a inserção de solo triturado nos potes 1 e 2, utilizou-se o pote restante para a realização da mistura de gesso em pó e água, produzindo-se, assim, a massa que cobriu e impermeabilizou o pote 2.

Os materiais necessários para a realização da massa de gesso são vistos na Figura 26 e na Figura 27 vemos a massa de gesso pronta.

Figura 26 – Pote com gesso em pó, água e espátula



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Figura 27 – Massa de gesso misturada e pronta para ser inserida no pote 2



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Após a mistura de pó de gesso e água se tornar homogênea, foi inserido o tufo de grama no pote 1. No pote 2, espalhou-se a massa de gesso utilizando uma espátula, de modo que todo o solo presente fosse coberto, impermeabilizando integralmente a área. O resultado desta etapa do experimento é visto na Figura 28.

Figura 28 – Potes 1 e 2 contendo, respectivamente, grama e gesso



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Com a faca, foram feitos 4 furos em ambos os potes, realizados na mesma altura da superfície, tanto da grama quanto do gesso. A Figura 29 mostra os potes após a realização dos furos.

Figura 29 – Potes de grama e gesso com os furos realizados



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Em sequência, após a realização dos furos, foi colocado sob cada pote, uma bandeja de plástico, para que fosse possível efetuar a coleta da água que infiltrou no solo, assim como a quantidade escoada para a bandeja, que simula sistemas de drenagem.

Após os potes 1 e 2 serem inseridos sobre as bandejas 1 e 2, respectivamente, foi despejado 1 litro de água, de modo uniforme, em toda superfície dos potes, conforme as Figuras 30 e 31.

Figura 30 – Inserção de água no pote 1, que contém grama



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Figura 31 – inserção de água no pote 2, que contém gesso



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

O último passo do experimento foi medir a quantidade de água que escoou para as bandejas de plástico, possibilitando a verificação da fração de líquido que infiltrou no solo e a que escoou, sendo, visíveis, os efeitos causados por solos impermeabilizados nos sistemas de drenagem urbana.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

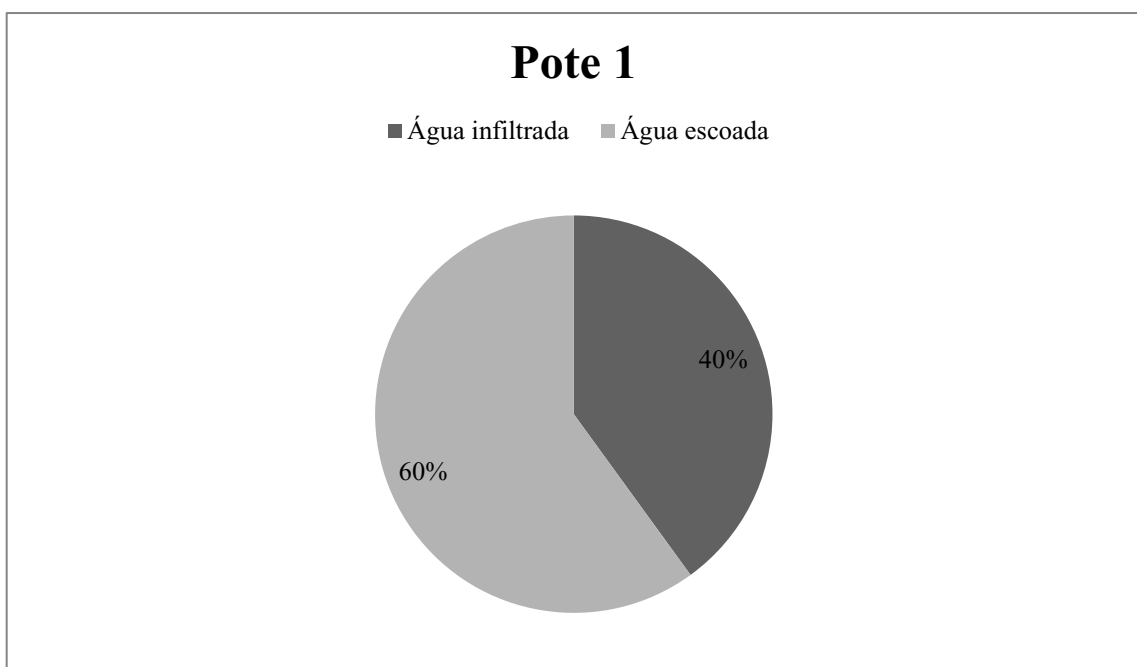
Neste experimento, foram seleccionados para análise, dois tipos de terrenos, um coberto integralmente por grama e o outro, com uma camada de gesso na superfície, impermeabilizando completamente o solo ao qual foi inserido.

Para cada situação criada, foram gerados gráficos, mostrando a quantidade de água infiltrada no solo que se manteve retida na superfície do terreno (pote) e o quanto escoou para as bandejas, que representam o sistema de drenagem urbana. O comparativo quanto a infiltração de água no solo de ambos os potes, também foi realizada, ilustrando a diferença de comportamento das amostras utilizadas.

5.1. Pote contendo grama (permeável)

No recipiente onde o tufo de grama foi inserido, a água conseguiu infiltrar aproximadamente 40% do volume total despejado, destinando os outros 60% para a bandeja presente sob o pote (gráfico 1).

Gráfico 1 – Resultados obtidos no pote 1, água infiltrada no solo e a escoada para a bandeja



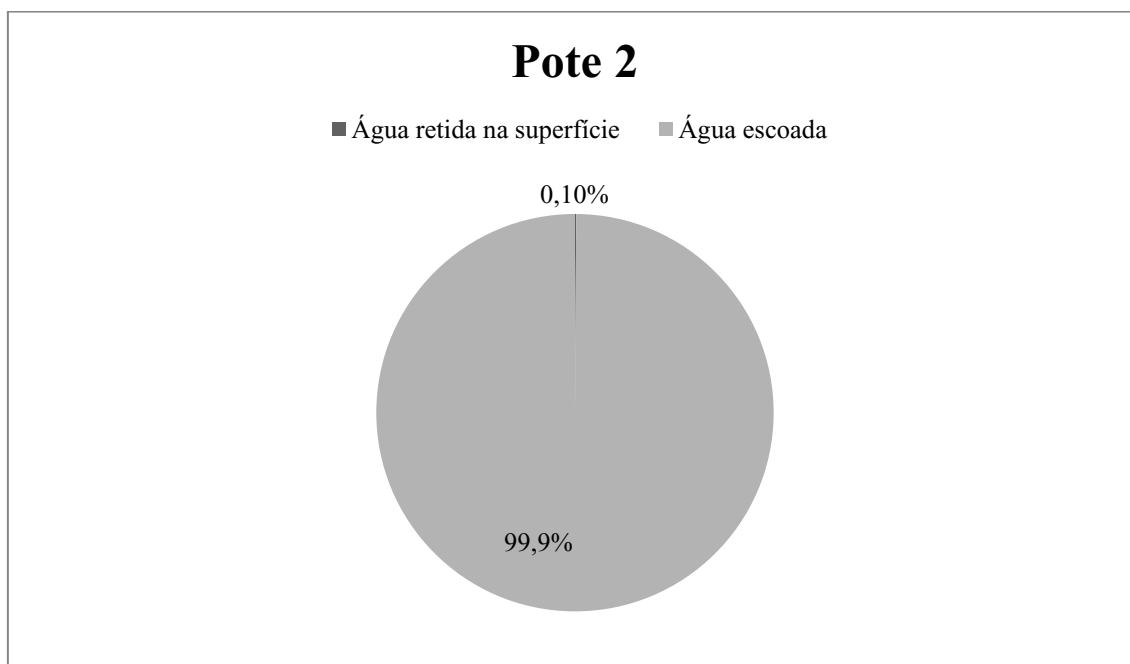
Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Esta porcentagem indica que o pote 1 contribuiu para a diminuição do escoamento superficial, com a redução das vazões de pico em corpos d'água próximos, propiciando a recarga de lençóis freáticos da região, conseqüentemente, aumentando a qualidade e disponibilidade hídrica do local, além de colaborar para a diminuição na ocorrência de inundações, que são fenômenos naturais que trazem danos tangíveis e intangíveis, de forma direta ou indireta, à população.

5.2. Pote contendo gesso (impermeável)

Pote 2 - continha solo completamente coberto por gesso, simulando a exacerbada pavimentação, ocorrida em grandes centros urbanos. Após receber a descarga de 1 litro de água, apresentou o seguinte comportamento (visto no gráfico 2).

Gráfico 2 – Resultados obtidos no pote 2, água retida na superfície e escoada para a bandeja



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Os números do gráfico 2 indicam que quase todo o líquido despejado no pote, contendo a camada impermeabilizante de gesso, escoou para a bandeja 2, não considerando o volume

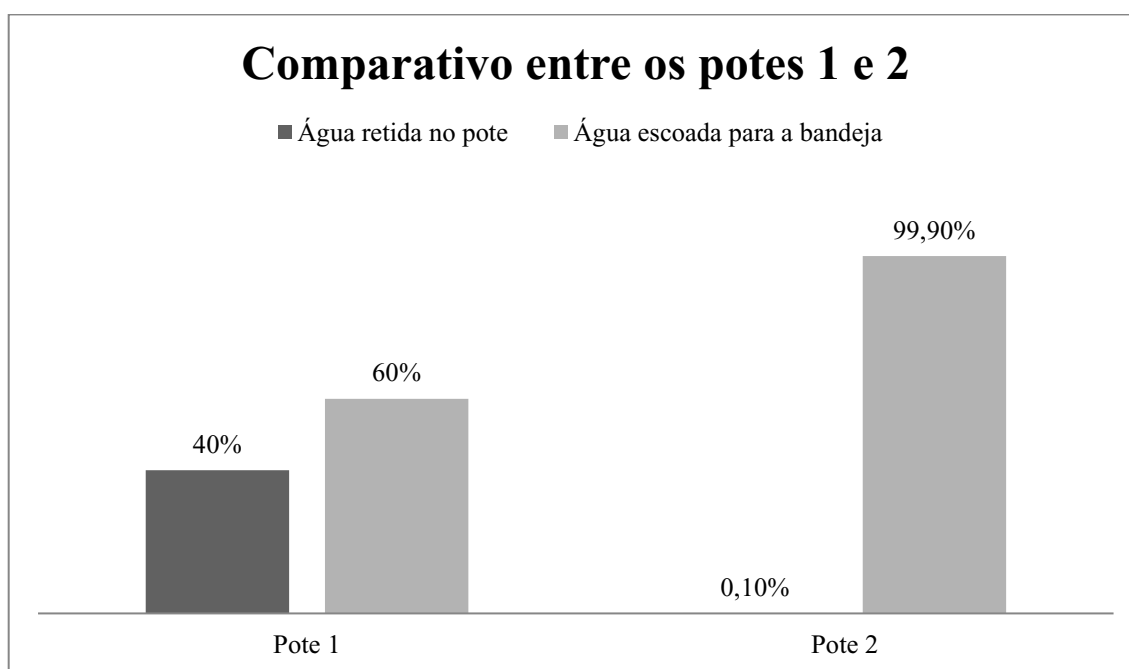
total, apenas pelo 0,1% de água que se reteve na superfície do gesso, pois, após a realização do experimento, ainda era possível perceber uma umidez insignificante no pote 2.

Constatando a não ocorrência de infiltração no solo, a água escoada para a bandeja 2 indica algo muito relevante, pois, dependendo da intensidade pluviométrica e obstrução de elementos de drenagem urbana, a saturação dos sistemas drenantes pode ocorrer, principalmente se feita seguindo o método higienista, destinando todo o fluido a jusante, podendo causar inundações e perdas materiais e humanas.

5.3. Comparativo entre os potes contendo grama e gesso

Analisando o gráfico 3, que faz um comparativo entre os resultados obtidos na experiência, é notável a diferença de permeabilidade das superfícies escolhidas. O pote 1, que continha grama em sua superfície, conseguiu fazer com que cerca de 40% do volume de água despejado, infiltrasse em seu recipiente, enquanto o pote 2, por estar impermeabilizado, não conseguiu realizar a absorção do fluido despejado, retendo apenas uma fração insignificante em sua superfície, que, após certo tempo, evaporou, assim, não colaborando na recarga de lençóis freáticos, nem na diminuição da quantidade de água destinada aos sistemas de drenagem (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Comparativo grama x gesso



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Os níveis de água que escoaram em direção as bandejas 1 e 2, demonstram a diferença que um terreno gramado tem, em relação a um terreno totalmente pavimentado, como é visto nas Figuras 32 e 33.

Figura 32 – Bandejas 1 e 2, com os líquidos escoados



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Figura 33 – diferença do líquido escoado pelos potes 1 e 2



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

6. CONCLUSÃO

Concluimos com este experimento que, na amostra com grama, a água consegue se infiltrar, trazendo benefícios ao meio ambiente, em contrapartida, na amostra de gesso, os níveis de permeabilidade de água no solo foram nulos, o que indica que todo o volume de líquido que infiltraria ou escoaria de forma menos veloz no solo, seria destinada ao sistema de drenagem urbana, que, se mal dimensionado ou com pouca manutenção, pode sofrer sobrecarga.

Os resultados, através desta pesquisa, e as conclusões obtidas, evidenciam o empenhamento para que o uso do solo em áreas urbanas seja mais sustentável. E que haja incentivo na aplicação das novas tecnologias de drenagem urbana, tendo o SUDS (Sustainable urban drainage systems) como principal referência, para que os problemas de perda da permeabilidade do solo, diminuição da qualidade/disponibilidade de água e inundações urbanas tratados na pesquisa, não ocorram de forma frequente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZZOUT, Y.; BARRAUD, S.; CRES, F. N.; ALFAKIH, E. 1994 Techniques alternatives en assainissement pluvial: choix, conception, realization et entretien. Paris: Lavoisier. 372 p.

BAHIA. Superintendência de Proteção e Defesa Civil. Inundação e Alagamento – O que fazer? Disponível em http://www.defesacivil.ba.gov.br/?page_id=218, acessado em setembro de 2019.

BALADES, J. D.; BERGA, P.; BOURGOGNE, P. Impact d'une tranchée drainante par temps de pluie. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN URBAN DRAINAGE, 3., 1998, Lyon. Lyon: GRAIE. 1998, p.551-558.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266p.

BRASIL. Ibge - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População**. 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao.html>>. Acesso em: 29 out. 2019.

BRASIL. Ibge - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População Rural e Urbana**. 2019. Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18313-populacao-rural-e-urbana.html>>. Acesso em: 29 out. 2019.

CANÇADO, V.L. Consequências Econômicas Das Inundações E Vulnerabilidade: Desenvolvimento de metodologia para avaliação do impacto nos domicílios e na cidade. UFMG, Tese de Doutorado, Belo Horizonte, 2009.

COSTA, J; ALEANDRI, G.A; POLETO, C. **Experimental Studies of Green Roof Systems as part of Sustainable Urban Watershed in order to minimize the problems of flooding**. In: 12nd International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre/Brazil. 2011.

CURCIO, G. R.; LIMA, V. C.; GIAROLA, N. F. B. Antropossolos: proposta de Ordem (1ª aproximação). Colombo: EMBRAPA Florestas, 2004.

FONTES; A. R. M.; BARBASSA, A. P. Diagnóstico e Prognóstico da Ocupação e da Impermeabilização Urbana. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, São Paulo, v. 8, n.2, abr/jun 2003. p. 137 – 142.

FREIRE SOUZA, C.; SOUZA GONÇALVES, L.; AVRUCH OLDENFUM, J. Plano Integrado de Sistemas de Drenagem Urbana. Porto Alegre, 2007.

FERGUSON, B. K. Porous Pavements. Integrative Studies in Water Management and Land Development. Florida, 2005.

GOERL, Roberto Fabris; KOBIYAMA Masato. Considerações sobre as inundações no Brasil. Disponível em: http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005_inundacoes.pdf. Acesso em: 04 de outubro de 2019.

GONÇALVES, W; PAIVA, H.N. Árvore para o ambiente urbano – (Série Arborização Urbana), v.3, 243p., 2004.

GROSTEIN, M. D. METRÓPOLE E EXPANSÃO URBANA a persistência de processos “insustentáveis” São Paulo em perspectiva, São Paulo, n.15, v.1, p13-19, 2001.

HALL, M. J. Urban Hydrology, 310f. London: Elsevier Applied Science, 1984.

JUNIOR, S. B. J. Solos Urbanos Residenciais do Bairro Jardim Paulista, Campina Grande do Sul (PR). 2008. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência do Solo). Curitiba: Universidade Federal do Paraná.

JUSTINO, Eliane Aparecida; PAULA, Heber Martins de; PAIVA, Ed Carlo Rosa. ANÁLISE DO EFEITO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DOS SOLOS URBANOS NA DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL DO MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA-MG. **Espaço em Revista**, Catalão, v. 15, n. 1, p.16-38, junho/dezembro de 2011.

KIPPER, Alex. **DRENAGEM URBANA: COMPARATIVO DE CUSTOS NO DIMENSIONAMENTO UTILIZANDO SISTEMAS DE DRENAGEM TRADICIONAL (HIGIENISTA), E COMPENSATÓRIA COM MICRORRESERVATÓRIOS.** 2015. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rs, Brasil, 2015. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2014/TCC_ALEX%20KIPPER.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2019.

MARTINS, J.A. **Redes de Distribuição de Água.** Capítulo 13. In: Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água. Vol. I. CETESB. São Paulo, 1976.

MMA – Ministério do Meio Ambiente, Controle de Inundações. (Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/aguas-urbanas/controle-deinunda%C3%A7%C3%B5es>). Acesso em 04 de outubro de 2019).

MOTA, S. Introdução à engenharia ambiental. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

PARANÁ (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **MANUAL DE DRENAGEM URBANA: Região Metropolitana de Curitiba- PR.** Curitiba: Ch2mhill, 2002. 150 p. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/volume6/mdu_versao01.pdf>. Acesso em: 17 set. 2019.

PASCHOAL, Renan da Silva. **Usos da água e necessidades de tratamento para consumo humano.** 2012. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

PEDRON, F. A. et al. Levantamento e Classificação de Solos em Áreas Urbanas: Importância, Limitações e Aplicações. In Revista Brasileira de Agrociência, Pelotas, v. 13, n.2, p. 147-151, abr-jun, 2007.

PEDRON, F. A. et al. Solos urbanos. Ciência Rural, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1647-1653, 2004.

PEDROSA, V. A. O controle da urbanização na macrodrenagem de Maceió: Tabuleiro dos Martins. 139 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRGS. Porto Alegre, 1996.

PINTO, Liliane Lopes Costa Alves. **O DESEMPENHO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS COMO MEDIDA MITIGADORA DA IMPERMEABILIZAÇÃO EM SOLOS URBANOS**. 2011. 255 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PINTO, N. S. et al. Hidrologia Básica, Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo - SP, 1976.

POLETO, C.; TASSI, R. Sustainable Urban Drainage Systems. IN: **Drainage Systems**. INTECH. p.185, 2011. p. 81-103.

PÔMPEO, C. A. Drenagem urbana sustentável. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p.15 – 23, 2000.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PINDAMONHANGABA (Pindamonhangaba).

Localização. 2019. Disponível em:

<<http://www.pindamonhangaba.sp.gov.br/site/localizacao/>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

REIS, R.P.A.; OLIVEIRA, L.H; SALES, M.M. Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. v. 8, n. 2, p. 99-117, 2008.

SANTOS, Karla Azevedo; RUFINO, Iana Alexandra Alves; BARROS FILHO, Mauro Normando Macêdo. **Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB**. 2015. 10 f. Tese - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, 2016.

SILVA, B. C.; COLIISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação da bacia do Rio São Francisco através do Modelo Hidrológico MGB – IPH. São Luis. ABRH, v.1, p. 1 – 22, 2005.

SILVEIRA, A.L.L. Apostila: **Drenagem Urbana: aspectos de gestão**. 1ª (ed) Curso preparado por: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CNPq), 2002.

SOUZA, M.L. (2009) Mudar a cidade: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbana. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

TUCCI, Carlos E. M.; BERTONI, Juan Carlos (orgs). Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. (Disponível em: <http://www.eclac.cl/samtac/noticias/documentosdetrabajo/5/23335/InBr02803.pdf>. Acesso em: 04 de outubro de 2019).

TUCCI, C.E.M.; COLLISCHONN, W. Drenagem urbana e controle de erosão In: Carlos E. M. Tucci; David da Motta Marques. (Org.). Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre, RS: EDUFRGS, 2000.

TUCCI, Carlos E. M. Gestão de Águas Pluviais Urbanas. Porto Alegre (RS): Curso de Gestão das Inundações Urbanas, junho de 2005.

TUCCI, Carlos E. M., PORTO, Rubem, La Laina e BARROS, Mário T. de **Drenagem Urbana**, Editora da UFRGS, Porto Alegre, 1998.

TUCCI, C.E.M. Aspectos Institucionais no Controle de Inundações. I Seminário de Recursos Hídricos do Centro-Oeste. Brasília., 1999 Anais do I Seminário de Recursos Brasília, 2009.

TUCCI, C. E. M., Inundações Urbanas, (Disponível em: http://4ccr.pgr.mpf.mp.br/ccr4/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentosdiversos/outros_documentos_tecnicos/curso-gestao-

do-territorio-e-manejo-integrado-dasaguas-urbanas/drenagem1.PDF. Acesso em 04 de outubro de 2019.)

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e aplicação. 4.ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2014.

UNIÃO EUROPEIA (Luxemburgo). Comissão Europeia. Orientações sobre as melhores práticas para limitar, atenuar ou compensar a impermeabilização dos solos. *In*: UNIÃO EUROPEIA (Luxemburgo). Comissão Europeia. **Orientações sobre as melhores práticas para limitar, atenuar ou compensar a impermeabilização dos solos**. 10.2779/88588. Luxemburgo: [s. n.], 2012. Disponível em: https://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil_pt.pdf. Acesso em: 20 ago. 2019.

VEYRET, Yvette. Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. Tradutor: Dílson Ferreira da Cruz. São Paulo: Contexto, 2007.

VILELA, Soraia – "Telhados verdes": pequenos pulmões para grandes cidades. Texto publicado no site www.dw-world.de em 12.11.2005

FIGURAS

Figura 01 – Ciclo da água:

Disponível em: < <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html> >- Acesso em: 05 ago. 2019.

Figura 02 – Inundação m Santa Catarina em 2008:

Disponível em: < <http://meioambiente.culturamix.com/desastres-naturais/o-historico-de-enchentes-no-brasil-causas-e-tragedias> >. Acesso em 05 ago. 2019.

Figura 05 – Reservatórios de Detenção:

Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p_secao=69>- Acesso em: 23 ago. 2019.

Figura 06 – Reservatórios de Retenção:

Disponível em: <<https://engenheironaweb.com/2017/05/19/lagos-do-parque-ibirapuera-serao-despoluidos-com-plantas-filtrantes/>>- Acesso em: 23 ago. 2019.

Figura 07 – Trincheiras de infiltração:

Disponível em: < https://app06.ottawa.ca/calendar/ottawa/citycouncil/ec/2011/10-18/03-ACS2011-ICS-PGM-0114-Pinecrest-Westboro_files/image028.jpg > - Acesso em: 22 ago. 2019.

Figura 08 – Valas ou valetas:

Disponível em: < <http://www.avix.com.br/images/homepage/servicos/drenagem-sustentavel.jpg> > - Acesso em: 22 ago. 2019.

Figura 10 – Telhados Verdes em uma residência:

Disponível em: < <bigstock-Wooden-House-With-Extensive-Gr-2243116932-1002x564.jpg>> - Acesso em: 22 ago. 2019.

Figura 11 – Telhados Verdes em um edifício:

Disponível em: < <http://www.nossofoco.eco.br/wp-content/uploads/2018/04/Telhados-Verdes-Mini-Curso-Online-800x445.jpg> > - Acesso em: 22 ago. 2019.