

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Hidráulica e Saneamento
SHS0382 - Sustentabilidade e Gestão Ambiental

Avaliação de medidas de mitigação de impacto ambiental de água de drenagem urbana do Campus 2 da USP - São Carlos

Aluno: André Perroud Palma
Nº USP: 8552244

1. Resumo

Por conta das edificações e construções do Campus II da USP - São Carlos, o processo de impermeabilização da área afetou o volume e velocidade do escoamento destinado ao Córrego do Mineirinho que, sem o tratamento adequado, oferece, entre outros impactos, um risco de erosão das margens do córrego, o qual já apresenta um avançado processo de erosão de suas margens.

Sendo assim, o projeto em questão irá avaliar o uso de 2 diferentes tecnologias de mitigação de impactos ambientais relacionados a águas de drenagem, sendo estas bacias de biorretenção e captação de água de chuva. Para isso, serão elaborados cenários diferentes nos quais serão considerados aspectos ambientais, econômicos e sociais da construção dessas tecnologias e quantitativos de volume de água tratada.

2. Diagnóstico e Contexto

2.1 Saneamento e política pública

Saneamento básico é definido, segundo a Lei Nacional de Saneamento Básico (Lei Federal Nº 11.445/2007), como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem urbana. Com isso, o saneamento básico entende-se como sendo um direito social, assim como uma série de outros direitos constitucionais como saúde, moradia e alimentação, cabendo ao poder público provê-lo em todo o território brasileiro (BRASIL, 2002).

Diante disso, na Política Ambiental da Universidade de São Paulo (USP) é apontada como diretriz a gestão ambiental a partir do diagnóstico, gerenciamento e monitoramento da USP em busca da conservação dos recursos naturais, colocando como um de seus Planos Ambientais Temáticos o tema água e efluentes, diretamente relacionados ao saneamento público.

Para a aplicação dessas propostas é necessário um Plano Diretor de cada Campus da USP, no qual são dispostas as diretrizes para a gestão de uso e ocupação. Porém, o Campus 2 da USP de São Carlos, objeto de estudo, não possui atualmente um Plano Diretor, o que compromete a aplicação da Política Ambiental da USP em sua área e, conseqüentemente, implica no risco de uma gestão da drenagem urbana incompatível com os direitos constitucionais levantados pela Lei Nacional de Saneamento Básico e Plano Ambiental da USP. No Licenciamento Ambiental do Campus, é levantada a busca da sustentabilidade nos âmbitos econômico-financeiro, social, ecológico, político e territorial, sendo função do Planejamento Ambiental da área fornecer, entre diversos aspectos, o suprimento adequado de drenagem urbana (Melfi & Cruz, 2003).

Outro fato importante relativo à drenagem urbana no município de São Carlos é a existência da Lei Nº 17.729 de 10 de fevereiro de 2016 que, no Art.3º, exige a captação e o aproveitamento da água da chuva em imóveis com mais de 140 m², apontando uma tendência no campo legislativo do município ao incentivo de práticas que promovam uma gestão da drenagem urbana mais adequada à solução dos problemas de drenagem do município.

Uma gestão adequada da drenagem urbana do Campus se faz necessária na medida em que a área da foz do córrego Mineirinho, onde este encontra o Monjolinho, é bastante propensa a enchentes, principalmente na região da rotatória do Cristo, onde se encontram o Rio Monjolinho, o córrego do Mineirinho e do Gregório. Assim, apesar do fato de tanto o rio Mineirinho quanto seus afluentes serem classificados como classe 3 segundo a resolução CONAMA, uma contribuição de grande

volume de água possui implicações não só no córrego e suas margens como também na incidência e intensidade de cheias no município.

2.2 Drenagem urbana no Campus 2 - USP

Cheias são fenômenos naturais que ocorrem regularmente, provocando o extravasamento de corpos d'água para as várzeas nas regiões de relevos mais amenos. Segundo o engenheiro Saturnino de Brito em 1925, a inundação é um fenômeno da natureza, e só representa um problema para o homem quando o mesmo usa ou ocupa terras inundáveis as quais possuem função de reter parte da água das chuvas ou das enchentes através de elementos reguladores das águas correntes (SANTOS, 2002). Porém, ações antrópicas como a impermeabilização do solo por conta da urbanização e o uso e ocupação de áreas de várzeas fizeram com que as cheias se tornassem muito mais frequentes e intensas, causando prejuízos tangíveis e intangíveis e, assim, tornando-se um dos maiores problemas da atualidade, principalmente em cidades com elevado grau de desenvolvimento (NAKAZONE, 2005).

Este problema está relacionado principalmente à falta de planejamento do processo de urbanização, cuja ocupação ocorre de forma desordenada e sem conciliação do natural com o urbano. A impermeabilização do solo, por meio das edificações e pavimentos, e a introdução de condutos de escoamento pluvial, são responsáveis por reduzir a infiltração do solo e aumentar a velocidade e volume do escoamento superficial, podendo causar diversos impactos tanto ambientais quanto socioeconômicos (TUCCI, 2006).

A redução da infiltração da água pluvial no solo diminui o nível do lençol freático do aquífero por falta de alimentação, o que diminui o escoamento subterrâneo. Esse fato é agravado pela falta de cobertura vegetal, que é responsável por reter parte da água pluvial na superfície. Hibbert (1967), apud Bosch e Hewlett (1982), realizou estudos sobre as vazões de 39 bacias experimentais existentes no mundo e chegou à conclusão, entre outros resultados do estudo, de que a redução da cobertura de florestas é responsável pelo aumento das vazões médias da bacia.

Além disso, a falta de infiltração da água no solo ocasiona em um aumento no volume do escoamento superficial que, junto com o aumento da velocidade do escoamento causado pelos condutos de escoamento, aumenta as vazões máximas e, conseqüentemente, contribuindo para a ocorrência de eventos de enchentes urbanas (TUCCI, 2006). O aumento da velocidade do escoamento superficial resulta em uma redução de tempos de retenção, causando um extravasamento de cursos d'água além do observado em condições anteriores à ocupação antrópica local (POMPÊO, 2000). Com isso, torna-se imprescindível o uso de instrumentos de adaptação e ferramentas adequadas para um correto gerenciamento dos recursos hídricos (KAWATOKO, 2012).

Porém, os impactos da drenagem urbana deficiente não se dão apenas nos aspectos quantitativos do escoamento superficial, como também nos aspectos qualitativos. Atualmente, a poluição difusa de origem pluvial vem ganhando importância nos estudos de qualidade ambiental por conta do grau de impacto que causa nos corpos hídricos. Estudos desenvolvidos pela EPA (1983) confirmam que as fontes de poluição difusa são as principais causadoras de degradação da qualidade dos escoamentos superficiais.

Segundo Campbell et al. (2004), poluição difusa é aquela proveniente das atividades presentes de forma dispersa pela área, tanto no solo urbano quanto rural, não sendo um efluente de um processo qualquer que seja. Devido ao fato da contribuição para a poluição difusa estar dispersa, suas fontes são difíceis ou impossíveis de serem monitoradas em sua origem.

Em eventos chuvosos, poluentes como resíduos sólidos, substâncias tóxicas, patógenos, metais pesados, derivados de petróleo e pesticidas são carregados pelo escoamento superficial aos corpos hídricos, podendo chegar ao ponto de haver nível de poluentes mais elevados em águas pluviais que em esgotos sanitários (BAPTISTA et al, 2011).

A partir da década de 1960, alguns países começaram a questionar o modelo tradicional de drenagem urbana, o qual transfere rapidamente as águas acumuladas de áreas consideradas importantes para outras áreas. Nesse modelo tradicional, incluem-se o projeto de grandes sistemas de galerias pluviais e as ações que procuram melhorar o fluxo em rios e canais a partir de cortes de meandros, retificação dos rios, entre outras. Contudo, essas últimas apenas transferem o problema para regiões a jusante, aumentando a intensidade de enchentes nesses pontos, sem realmente solucionar o real problema, que é a forma de ocupação humana sobre a bacia hidrográfica (POMPÊO, 2000); (McCUEN, WALESH e RAWIS, 1983); (TUCCI, PORTO e BARROS, 1995) e (PARKINSON et al., 2003).

Por conta do crescimento dos custos e limitações físicas e arquitetônicas das grandes cidades, a adequação dos sistemas convencionais torna-se inviável tecnicamente e economicamente e, assim, os problemas continuam sem solução ou com soluções ineficientes (TASSI, 2002); (GRACIOSA, 2004).

Percebeu-se, então, que era necessário modificar as formas atuar e pensar em relação à drenagem de águas pluviais, abrandando os efeitos causados por transferir os problemas das cheias para jusante. Com isso, surgiu uma abordagem mais moderna e ambiental do problema de drenagem urbana, considerando conceitos como armazenamento e retardamento como forma de prevenção e mitigação dos efeitos da urbanização nos eventos de cheias, buscando simular e manter as características hidrológicas naturais da bacia hidrográfica (NAKAZONE, 2005).

Para minimizar esses impactos da impermeabilização do solo, uma das alternativas adotadas é a aplicação de soluções não convencionais de drenagem de águas pluviais, promovendo a detenção e a infiltração no solo da água de chuva (SILVA, 2009). Nos últimos trinta anos, surgiram as denominadas medidas compensatórias, as quais procuram mitigar os efeitos da urbanização no escoamento superficial, atuando sobre os processos hidrológicos com o intuito de reduzir seu volume e a vazão (NASCIMENTO *et al.*, 1997).

Atualmente, estes conceitos provocam uma reflexão e uma mudança de paradigmas em novos Planos Diretores Urbanos. Essas abordagens experimentais e adaptativas têm diferentes denominações: Historicamente, conforme Pompêo (2000), drenagem urbana no Brasil se manteve focada no tratamento hidráulico para a condução do escoamento superficial, baseando seus sistemas de drenagem no uso de condutos. Entretanto, a partir da década de 90, os centros de pesquisa brasileiros especializado em drenagem urbana passaram a estudar técnicas compensatórias (TCs) e suas adaptações para o cenário local como alternativa para compensar os efeitos negativos da urbanização sobre o escoamento superficial, tomando como base pesquisas realizadas em países da Europa, dos Estados Unidos e da Austrália. Apesar de sutil, houve, por conta do desenvolvimentos desses novos conceitos, uma mudança de paradigmas em novos Planos Diretores Urbanos. Essas abordagens experimentais e adaptativa são também conhecidas como: Low Impact Development (LID), Water Sensitive Urban Drainage (WSUD), Best Management Practices (BMP) e Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS). Esses novos conceitos tratam basicamente dos mesmos princípios e tipos de solução, sendo estes medidas estruturais e/ou não estruturais. Essas novas abordagens priorizam princípios de infiltração induzida, retenção, biofiltração do escoamento superficial, controle na fonte de geração dos escoamentos, integração paisagística com espaço urbano, impedir a transferência dos impactos para jusante e abordagem multidisciplinar, com educação ambiental e

participação social inclusas (FLETCHER *et al.*, 2012). Com isso, procura-se uma adequação dos aspectos quantitativos (volumes armazenados, vazões de pico atenuadas, retardamento do escoamento) e qualitativos (poluição difusa, aspectos físicoquímicos, microbiológicos e ecotoxicológicos) do ciclo hidrológico.

De acordo com Baptista et al. (2011), as TCs podem ser classificadas três métodos:

- Técnicas para controle na fonte: inseridas numa pequena escala e associadas a pequenas superfícies de drenagem, sendo essas poços de infiltração, sistemas de biorretenção, microrreservatório, telhado verde, entre outras;
- Técnicas lineares: atreladas aos sistemas viários, pátios, estacionamentos e arruamentos com grandes áreas de drenagem, por meio de pavimentos permeáveis, valas de detenção, trincheiras de infiltração, planos de infiltração e detenção.
- Técnicas para controle centralizado: são bacias de retenção e detenção de grandes áreas de drenagem

O Campus II da USP - São Carlos encontra-se em um terreno no qual, aproximadamente, 30% da área caracteriza-se como área de preservação ambiental. Encontram-se na área nascentes e o Córrego do Mineirinho, o que acentua a importância do controle dos impactos ambientais gerados na área por atividades antrópicas do Campus.

Segundo Benini (2003), o processo de impermeabilização da área do Campus 2 com a construção de prédios para fornecer a infra-estrutura básica para os alunos provocou um aumento do Runnoff da água, o que aumenta a erosão e carreamento de sedimentos que assoreiam os canais de drenagem. O aumento do Runnoff resulta na degradação do solo, pois a água leva consigo vários minerais e elementos, deixando o solo a montante pobre.

Diante desse cenário, foi proposta pelo Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas (NIBH) - SHS/EESC/USP a aplicação de 8 TCs ao todo, relativas às áreas de contribuição de drenagem pluvial. Porém, até o presente momento somente uma TC foi aprovada e construída, sendo esta uma bacia de bioretensão, localizada próxima ao prédio da Engenharia Ambiental, a qual possui uma área de contribuição de 2,3 ha, sendo a área total do Campus 102,4 ha. Sendo assim, toda a água pluvial que não se encontra na área de contribuição dessa bacia de bioretensão é destinada, sem qualquer tratamento quali-quantitativo, para as áreas de preservação do Campus, representando um risco de poluição das nascentes, córregos e vegetação. A Figura 1 apresenta uma imagem de satélite do Campus II, com a marcação da localização da bacia de bioretensão construída. Além disso, o processo de impermeabilização da área do Campus afetou o volume e velocidade do escoamento destinado ao córrego que, sem o tratamento adequado, oferece, entre outros impactos, um risco de erosão das margens do córrego, o qual já apresenta um avançado processo de erosão de suas margens.

Em estudos realizados nessa técnica, foi observada uma eficiência insuficiente para o volume de água de escoamento. Sendo assim, se faz necessário a ampliação de obras de tratamento da drenagem urbana do Campus.



Figura 1 - Imagem de satélite do Campus II com a marcação da localização da bacia de bioretenção. Adaptado de Google Earth (10/04/2018)

A utilização de TCs podem ser utilizadas em conjunto com os sistemas de suporte à decisão (SSD), que auxilia na seleção de políticas de gestão para bacias hidrográficas, incluindo a drenagem urbana (MACEDO, 2015). Essa abordagem foi explorada nos trabalhos de Benzerra *et al.* (2012) e Makropoulos *et al.* (2008).

Outra TC para lidar com o atual problema de drenagem urbana da USP é a utilização de sistemas de captação de água de chuva, que não só lida com o volume de água excessivo de água de chuva como também possibilita a prevenção da poluição da água que deixará de entrar em contato com o solo urbano e permite o uso da água coletada para diversos usos nos edifícios, diminuindo a demanda de água da rede pública.

Sendo assim, o estudo de possíveis propostas para a atual situação de drenagem urbana do Campus II da USP - São Carlos se mostra necessário para que seja garantida a sustentabilidade da universidade e preservação das áreas de preservação ambiental nas redondezas.

2.3 Casos de sucesso

O levantamento de casos de sucesso da aplicação de medidas se faz necessário na medida em que consiste em um norte para a elaboração do plano e execução da medida.

Assim como evidenciado no estudo da bacia de biorretenção localizada no Campus 2 da USP, diversos estudos, ainda em território nacional, avaliam o uso dessa tecnologia na gestão da drenagem

urbana. Na dissertação de mestrado realizada por Júnior (2013), foi avaliada a capacidade da estrutura no controle quali-quantitativo da água de drenagem urbana de área localizada no campus da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Os resultados do estudo apontaram uma eficiência maior que a esperada pela literatura, corroborando com diversos estudos que indicam as bacias de biorretenção como importantes alternativas de gestão da drenagem urbana.

Na cidade de Portland nos Estados Unidos, pode ser encontrado um outro caso de sucesso do uso da tecnologia de bacia de biorretenção no Tanner Spring Park, como pode ser observado nas Figuras 2 e 3. Essa tecnologia não apenas reduz o impacto ambiental, como também os custos com a drenagem urbana tradicional.

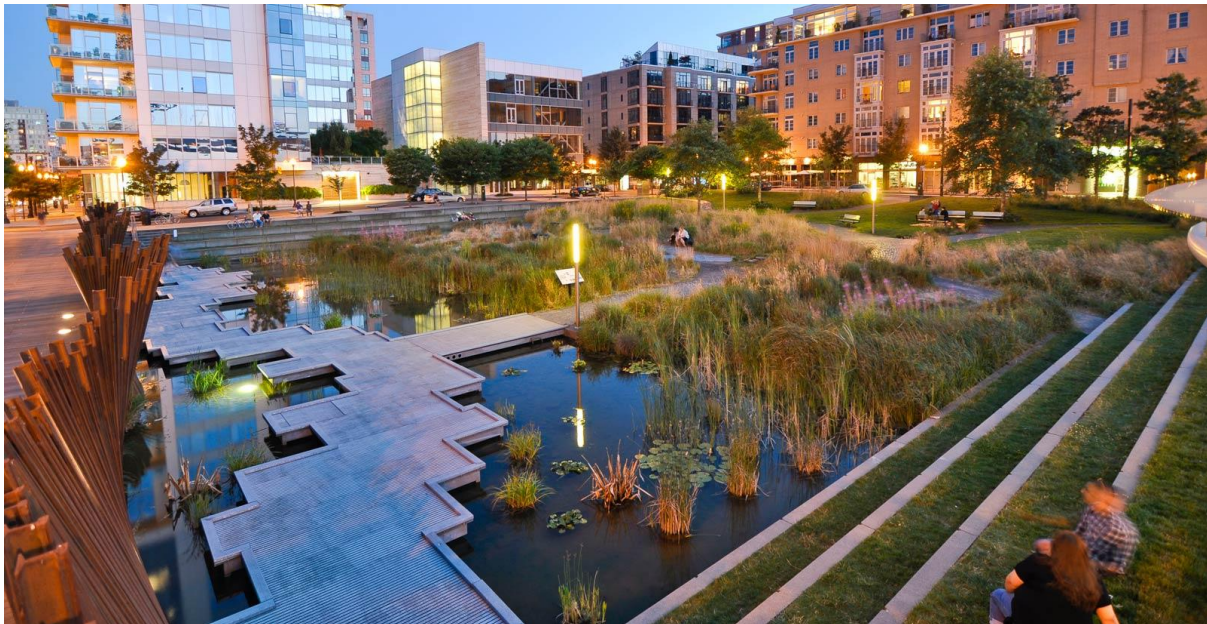


Figura 2 - Bacia de retenção de Tanner Springs Park, Portland, Oregon. Fonte: (Water in Zicht, 2014)

Em estudo realizado pela Universidade de Copenhague em conjunto com a Universidade Técnica da Dinamarca como parte do curso Black, Blue and Green PhD em drenagem urbana sustentável realizou estudos de casos nos quais técnicas compensatórias foram utilizadas na melhoria da drenagem urbana local. Neste estudo, foi observada o uso tanto de bacias de biorretenção quanto de sistemas de captação da água de chuva na Holanda, sendo constatado uma eficiência na prevenção de enchentes e contaminação da água de rios, na medida em que a água de chuva é contida localmente (BIRCH, BERGMAN, BACKHAUS, FRYD, INGVERTSEN, 2008). As Figuras 4 e 5 demonstram alguns dos exemplos do uso de bacias de biorretenção e captação de água de chuva abordados nesse estudo de caso.

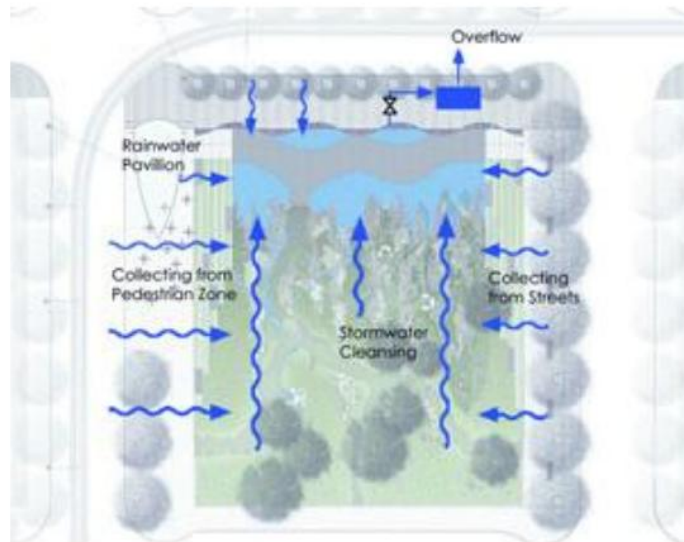


Figura 3 - Funcionamento da bacia de retenção de Tanner Springs Park. Fonte: Water in Zicht, 2014



Figura 4 - Telhado verde com captação de água de chuva em EVA-Lanxmeer, Culemborg. Fonte: Lamiot (2009)



Figura 5 - Bacia de biorretenção e telhados verdes com sistema de captação da água de chuva da cidade de Arnhem, Holanda. Fonte: Buro Lubbers, 2002.

Esses exemplos de boas práticas, tanto no território nacional quanto no exterior evidenciam o potencial que as técnicas compensatórias possuem na melhoria da gestão de drenagem urbana, assim como sua aplicabilidade, fornecendo um importante norte a ser seguido no Campus 2 da USP de São Carlos. Essas práticas não só oferecem uma possível prática de mitigação de problemas ambientais e sociais da região como também possui diversos impactos relativos à pesquisa científica e adoção de práticas inovadoras dentro da área da universidade, aspectos que serão mais discutidos adiante.

3. Objetivo Geral

O objetivo do projeto é estudar possíveis soluções para o problema de drenagem do Campus II da USP - São Carlos, propondo assim possíveis soluções para os impactos ambientais causados pela drenagem do Campus. Sendo assim, o projeto visa gerar um relatório introdutório que possa guiar futuros trabalhos de aplicação real dessas medidas.

4. Objetivos Específicos

- Estimar as áreas de edifícios e solo impermeabilizado para servir como base do cálculo do volume de água de contribuição de cada uma das técnicas;
- Criar diferentes cenários para a avaliação do uso das duas tecnologias estudada na atual situação do Campus II;
- Realizar uma comparação entre os diferentes cenários, apresentando diferentes propostas de mitigação dos impactos da água de drenagem urbana no córrego do Mineirinho.

5. Justificativa do tema e recorte escolhido

A drenagem urbana está ligada a impactos tanto quantitativos, como o aumento da frequência e intensidade de inundações, quanto qualitativos, na medida em que a poluição difusa de origem pluvial vem ganhando importância nos estudos de qualidade ambiental por conta do grau de impacto que causa nos corpos hídricos.

A escolha deste recorte é justificada pela importância, não apenas de uma boa gestão das águas de drenagem urbanas, como também no quadro específico no qual se encontra o Campus II em relação à esse aspecto.

6. Metodologia

Primeiramente, será realizado um levantamento bibliográfico sobre as duas tecnologias, a fim de entender com maior detalhamento o funcionamento de ambas, assim como a atual situação de drenagem do Campus.

Será realizada a avaliação, com o uso de programa de georreferenciamento ArcGIS, das áreas do Campus. Assim, será estimado o volume de água de escoamento superficial do Campus, utilizando-se dados pluviométricos da região. Estes cálculos serão importantes para a avaliação do potencial de cada tecnologia mitigar os impactos quantitativos do volume de água de drenagem.

Em seguida, serão avaliados três diferentes cenários, sendo estes: com uso de bacias de bioretenção; com o uso de captação de água de chuva nas edificações; e com o uso misto das duas tecnologias.

Por fim, os cenários serão comparados em termos de destinação final da água de escoamento, capacidade de mitigação dos impactos relativos ao volume de água de drenagem e aspectos econômicos de construção e manutenção de ambas as tecnologias.

7. Proposta de ações de intervenção tecnológica, e indicadores associados

Nos itens anteriores, foi discutido o problema de gestão da drenagem urbana no Brasil como um todo, aprofundando no caso do Campus 2 da USP de São Carlos, objeto de estudo. Como em outros casos levantados nesse trabalho, as técnicas compensatórias mostram-se como relevante intervenção tecnológica, apresentando resultados condizentes com o previsto pela Lei Nacional de Saneamento Básico e Plano Ambiental da USP. Sendo assim, será avaliado uso dessas técnicas no

Campus 2 da USP como forma de alinhar seu sistema de drenagem urbana com um modelo sustentável de drenagem.

A partir do uso do software Google Earth, foi calculada a área de estradas pavimentadas e edificações com o intuito de obter uma estimativa da área impermeável no Campus, o que influi na quantidade e qualidade de água de chuva escoada e direcionada ao Córrego do Mineirinho. Os resultados desse levantamento estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Áreas e contribuição estimadas de diferentes usos antrópicos do solo no Campus 2 da USP

Uso do solo	Área estimada (ha)	Contribuição de água de drenagem (m³)
Estrada pavimentada	44,14	595884,60
Edificação	42,48	573538,05

Para o cálculo das áreas, foram desenhados polígonos a partir de imagem área do Campus, sendo calculada a área em hectares a partir do Google Earth. No cálculo da área de estradas pavimentadas foi adotada uma largura média da via de 6 metros, também obtida a partir do Google Earth.

O cálculo da contribuição de água para o sistema de drenagem do Campus foi utilizada a média de precipitação de 1350 mm ao ano na área do Campus 2, acordo com estudo de Benini (2005).

Analisando os resultados, podemos observar que a parcela impermeabilizada do Campus encontra-se dividida quase que igualmente entre estradas pavimentadas e edificações. Sendo assim, isso indica que uma única tecnologia para a mitigação do problema de drenagem pode ser insuficiente, na medida em que apenas a captação da água de chuva nas edificações não irá contribuir no tratamento da água de precipitação nas estradas pavimentadas, enquanto, por conta da grande área impermeável, apenas bacias de biorretenção podem encontrar dificuldades em lidar com todo o volume de drenagem do Campus. Porém, é necessário um estudo mais aprofundado, levando em consideração a viabilidade econômica de cada tecnologia e seus impactos socioambientais.

Foram então elaborados 3 diferentes cenários, sendo o primeiro com o uso de bacias de biorretenção, o segundo com o uso de sistemas de captação de água de chuva em edificações e um terceiro com o uso misto dessas duas tecnologias.

Dentre os indicadores esperados para a eficiência dessas tecnologias nesse contexto, tem-se:

- porcentagem de água precipitada em eventos chuvosos que é tratada pelas tecnologias, indicando a diminuição do volume de água de drenagem destinado ao Córrego do Mineirinho;
- porcentagem de remoção de sedimentos e parâmetros qualitativos da água tratada pelas tecnologias, indicando a proteção do Córrego do Mineirinho em relação à esses parâmetros;
- porcentagem da economia de água gerada nos edifícios com captação de água de chuva, indicando a quantidade de água disponível para múltiplos usos em edificações que contam com captação de água de chuva

Esses indicadores deverão ser monitorados periodicamente, podendo assim haver uma parceria entre a gestão do Campus e pesquisas, as quais não só avaliarão a eficiência das tecnologias, como também possuem o potencial de levantar informações importantes para o aperfeiçoamento do sistema de drenagem.

8. Proposta de ações de gestão e indicadores associados

Na gestão da tecnologias, sugere-se uma ação integrada entre a equipe gestora do Campus, o corpo docente e os discentes da universidade, aproveitando ao máximo a conexão entre a Pesquisa e a universidade. Com isso, é possível um maior aproveitamento das tecnologias tanto em relação à sua eficiência e mitigação dos impactos da drenagem como em relação ao potencial pedagógico e aperfeiçoamento das tecnologias a partir da pesquisa. Como norte da gestão, a ISO 14.001 apresenta-se como importante ferramenta na identificação, priorização e gerenciamento dos riscos ambientais, possibilitando um maior foco às questões mais relevantes em questão. Através do Sistema de Gestão Ambiental (SGA), a equipe gestora poderá realizar uma melhora contínua em todo o processo de gestão.

Essa gestão integrada deverá contar com um constante diálogo entre as diferentes partes, alinhando suas propostas e ações. A gestão do Campus possui um maior potencial, por conta de meios econômicos e maquinário, de se responsabilizar pela construção e possíveis manutenções das tecnologias. Enquanto isso, as pesquisas científicas serão essenciais na avaliação periódica da eficiência das tecnologias, além do desenvolvimento de proposições de ampliação e melhoria desse modelo de gestão de drenagem urbana do Campus.

Como indicadores dessas ações de gestão, tem-se:

- número de orientadores e bolsas científicas em torno das tecnologias aplicadas, indicando a quantidade de material humano e recursos de pesquisa responsável pela gestão das técnicas compensatórias;
- número de reuniões por mês realizadas entre os diferentes agentes (docentes, orientandos e gestores do Campus), indicando essa integração da equipe gestora responsável pelas tecnologias;

Com uma gestão integrada e bem estruturada, é de se esperar um maior aproveitamento do potencial dessas tecnologias na mitigação dos atuais impactos causados pela drenagem urbana do Campus, sendo um ponto fundamental para a garantia e manutenção da eficiência das tecnologias. Isso não só tem uma relevância no âmbito socioambiental, como também possui relação direta com o âmbito econômico, fazendo um melhor uso dos recursos da universidade e evitando gastos desnecessários no projeto.

9. Análise de Viabilidade

Para que a proposta de intervenção na drenagem urbana do Campus 2, é essencial uma análise de viabilidade para que seja escolhida a proposta que não só atenda às necessidades de melhorias da drenagem, como também ser viável financeiramente sua implementação.

Para isso, foi levado em consideração o custo de implementação da bacia de biorretenção situada no Campus 2 da USP e um estudo detalhado realizado sobre a viabilidade técnica e econômica da captação e uso de água de chuva em região metropolitana de Curitiba - PR.

Segundo relatos para o Jornal da Globo da pesquisadora Marina Bartalini, integrante do grupo de pesquisa responsável pela construção, manutenção e estudo da bacia de biorretenção do Campus 2, o sistema todo possuiu gasto de implementação estimado entre R\$20 mil a R\$30 mil, contando com pouquíssima manutenção, gasto o qual será considerado irrisória neste estudo. Será então tomado como custo de implementação um valor médio de R\$25 mil por bacia de biorretenção, com a capacidade de retenção de 250 m³ de água e ocasionando a recarga do aquífero.

De acordo com Teixeira (2016), em estudo realizado em região metropolitana de Curitiba - PR, um sistema de reservatório de água de captação, que consiste na parcela majoritária dos gastos em um sistema de captação de água de chuva, possui um custo total de aproximadamente R\$25 mil com uma capacidade de 1.000 m³. Além disso, esse sistema possibilita o reuso de água em usos não nobres, como água para lavagem de chão, vasos sanitários, entre outros, o que possibilita um retorno financeiro em 14 anos na economia do uso de água. Porém, no contexto do Campus 2 da USP, situada no município de São Carlos, o custo da água é consideravelmente mais baixo que em Curitiba, logo o payback poderá se dar em um prazo muito maior.

Sendo assim, foi elaborada a Tabela 2 com a síntese desses dados levantados, contendo os valores de implementação, volume de água de precipitação tratada, possibilidade de reúso e efeito de recarga do aquífero.

Tabela 2 - Síntese de informações sobre as duas tecnologias estudadas

Tecnologia	Custo de implementação	Volume tratado	Reúso	Recarga de aquífero
Bacia de biorretenção	R\$ 25.000,00	250 m ³	Não	Sim
Captação da água de chuva	R\$ 25.000,00	1.000 m ³	Sim	Não

Para a implementação dessas tecnologias, é possível, como observado em casos como a construção da bacia de biorretenção já construída no Campus 2, ser realizada em uma parceria entre funcionários da USP e alunos bolsistas, sendo estes responsáveis pela manutenção das tecnologias durante suas atividades de pesquisa. Sendo assim, uma convergência dos fundos destinados à pesquisa e atividades de manutenção se mostra uma alternativa viável para a gestão de drenagem urbana.

Por fim, foi elaborada o Quadro 1, na qual foi avaliados os aspectos ambientais, econômicos e sociais da implementação de cada um dos três cenários estudados. Para isso, foi atribuída uma ponderação de -3 a 3 em cada um dos aspectos, sendo os valores negativos atribuídos à impactos negativos e valores positivos à impactos positivos. O valor da soma final de cada cenário facilita a análise a proposta mais viável.

Quadro 1 - Avaliação multicriterial da viabilidade dos aspectos dos três cenários estudados

Cenário	Aspectos			
	Ambiental	Econômico	Social	Total
Bacia de biorretenção	2	-2	2	0,7
Captação da água de chuva	2	1	2	1,7
Misto	3	-1	2	1,3

Na análise dos aspectos ambientais, foi levado em consideração o volume de água que deixará de atingir o córrego do Mineirinho, a influência na recarga do aquífero e redução do uso de água pelo Campus 2. Sendo assim, dos dois primeiros cenários atendem a dois desses parâmetros, enquanto o cenário de uso misto das tecnologias atende à todos os aspectos.

Em relação aos aspectos econômicos, foi considerado o investimento de implementação relativo ao volume de água tratado e a possibilidade de redução de gastos financeiros no reúso de água. O primeiro cenário (apenas bacias de biorretenção) além de ter gastos muito superiores aos de sistemas de captação de água de chuva para o mesmo volume de água tratado, não possibilita a economia dos gastos de água, diferentemente do segundo e terceiro cenário, sendo o último uma média dos dois cenários. Já que o retorno financeiro é previsto para um prazo muito longo no segundo cenário, a pontuação nesse quesito foi positiva, porém baixa.

Por fim, foi atribuída uma mesa pontuação para todos os cenários no âmbito social na medida em que todos possibilitam uma integração de diferentes esferas da universidade (corpo docente, alunos e funcionários da gestão da universidade).

9. Conclusão

A gestão da drenagem urbana do Campus 2 da USP de São Carlos encontra dificuldades, sendo a água de drenagem responsável por diversos problemas ambientais no Córrego do Mineirinho, o qual está relacionado à diversos problemas de enchentes do Município na região da rotatória do Cristo, onde se encontram o Rio Monjolinho, o córrego do Mineirinho e do Gregório.

A adoção de melhores práticas de gestão da drenagem urbana se mostra necessária, a qual possui o potencial não só de melhoria do atual cenário de impacto ambiental pela drenagem urbana da área como também uma integração da Pesquisa, Ensino e Extensão na universidade.

Analisando a possibilidade da implementação de três diferentes cenários com o uso de duas técnicas compensatórias, sendo elas bacia de biorretenção e captação da água de chuva, é apontado o segundo cenário, com uso apenas de Captação de água de chuva, como sendo o cenário com maior viabilidade de implementação. Porém, vale ressaltar que, para um total tratamento da água de drenagem urbana do Campus 2, se faz necessário o uso de bacias de biorretenção, já que nem toda precipitação se dá em áreas edificadas.

10. Referências

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. (2011). **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2a edição, p.318, 2011.

BENINI, R. M. (2005). **Cenários de Ocupação Urbana e Seus Impactos no Ciclo Hidrológico na Bacia do Córrego do Mineirinho**. Dissertação de Mestrado, EESC/USP.

BENZERRA, A; CHERRARED, M; CHOCAT, C, CHERQUI, F., ZEKIOUK, T. **Decision support for sustainable urban drainage system management: A case study of Jijel, Algeria**. J. Environ. Mgnt., v. 101, p. 46–53. 2012.

BIRCH, BERGMAN, BACKHAUS, FRYD, INGVERTSEN, (2008). **Sustainable Urban Drainage Systems - 8 case studies from the Netherlands**. University of Copenhagen and Technical

University of Denmark. Disponível em: <http://ign.ku.dk/forskning/landskabsarkitektur-planlaegning/landskabsteknologi/2bg-black-blue-green/filer/2bg_workingpaper1_holland_excursion.ashx> . Acesso em 08/05/2018.

BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. (1982). **A review of catchments experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration.** Journal of Hydrology 55: p. 2-23.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE (2002). **Programa Saneamento Básico.** Brasília: Ms, 2002. 48 p. Disponível em: <<http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/saneamento.pdf>>. Acesso em 20 abril 2018.

BRASIL (2016). LEI Nº 17.729 DE 10 DE FEVEREIRO DE 2016. Disponível em: <<https://nbsnet.com.br/pdoc/documentos/15/93/2016/02/51F9074D28B974963F0CD5B54FF49E02.pdf>>. Acesso em 10 junho 2018.

BRASIL. **CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. RESOLUÇÃO No 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005:** Publicada no DOU no 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2018.

BRATIERES, K., FLETCHER, T. D., DELETIC, A., ALCAZAR, L., COUSTOMER, S. L. & MCCARTHY, D. T. (2008). **Removal of nutrients, heavy metals and pathogens by stormwater biofilters.** 11th International Conference on Urban Drainage. Edinburgh, Scotland, UK.

BURO LUBBERS (2002). **Monnikenhuizen – Transformation of football court to residential area.** Disponível em: <<http://landezine-award.com/buro-lubbers/>>. Acesso em 08/05/2018.

CAMPBELL, N; D'ARCY, B.; FROST, A.; NOVOTNY, V.; SANSOM, A. **Diffuse pollution: An introduction to the problems and solutions.** IWA Publishing, London, p. 310. 2004.

EPA. **Results of the Nationwide urban runoff program.** Volume 1 – Final Report. Water Planning Division, U.S. USEPA, Washington, DC. 1983.

FLETCHER, T.D., ANDRIEU, H., HAMEL, P. (2012). **Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art.** Advances in Water Resources, Volume 51, p. 261-279.

GRACIOSA, M. C. P. (2004). **Trincheiras de infiltração como tecnologia alternativa em drenagem urbana.** Dissertação (Qualificação Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 108 p.

HATT, B. E., FLETCHER, T. D., AND DELETIC, A. (2009). **Hydrologic and pollutant removal performance of stormwater biofiltration systems at the field scale.** J. Hydrol., 365(3–4), 310–321.

ISO. **International Organization for Standardization.** Environmental management - the ISO 14000 family of international standards. 2002. Disponível em: <<http://www.iso.ch>>. Acesso em 12 junho 2018.

JORNAL G1 (2016). **Pesquisadores da USP de São Carlos estudam sistema que evita enchentes.** Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/sao-carlos-regiao/noticia/2016/03/pesquisadores-da-usp-de-sao-carlos-estudam-sistema-que-evita-enchentes.html>>. Acesso em 23 junho 2018.

JUNIOR, J. J.(2013). **Avaliação de uma biorretenção como estrutura sustentável de drenagem urbana**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2013.

KAWATOKO, I. E. S. (2012). **Estabelecimento de cenários de medidas estruturais e não-estruturais para gestão das águas urbanas em escala de lote**. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012. 152p.

LAMIOT (2009). **EVA- Lanxmeer Green Roof**. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EVA-_Lanxmeer_Green_roof_2009.jpg>. Acesso em 08/05/2018.

LIU T.Y., LIN W.Y., HUANG T.K., CHIOU T.J. (2014) **MicroRNA-mediated surveillance of phosphate transporters on the move**. Trends Plant Sci 19: 647–655.

LOURENÇO, R. (2014). **Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis**. Mestrado em Engenharia Civil, Especialização em construção urbana. Instituto Politécnico de Coimbra.

MACEDO, B. M. (2015). **Otimização da operação e manutenção de técnicas compensatórias de drenagem urbana em clima subtropical**. Projeto de qualificação, 2015.

MAKROPOULOS, C. K.; NATSIS, K.; LIU, S.; MITTAS, K.; BUTLER, D. **Decision support for sustainable option selection in integrated urban water management**. Environmental Modelling & Software, v. 23, p. 1448–1460. 2008.

McCUEN, R. H.; WALESH, S. G.; RAWIS, W. J. (1983). **Control of urban stormwater runoff by detention and retention**. Washington: United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service. (Miscellaneous publication number 1428).

MELFI, A. J.; CRUZ, H. N. (2003). Licença Ambiental: Campus II - São Carlos. Universidade de São Paulo. 108 p.

NASCIMENTO, N. O.; BAPTISTA, M. B.; RAMOS, M. H. & CHAMPS, J. R. (1997). **Aspectos da evolução da urbanização e dos problemas de inundações em Belo Horizonte**. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, CDRom, art. 335, Vitória, ES.

NAKAZONE, L. M. (2005). **Implantação de reservatórios de detenção em conjuntos habitacionais: a experiência da CDHU**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo. 305p.

PARKINSON, J.; MILOGRANA, J.; CAMPOS, L. C.; CAMPOS, R. (2003). **Drenagem urbana sustentável no Brasil**. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, Loughborough University.

POMPÊO, C. A. (2000). **Drenagem Urbana Sustentável**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 5(1): p. 15-23.

SANTOS, M. C. DOS (2002). **Águas revoltas: história das enchentes em Santo André**. Santo André: Semasa, PMSA.

SILVA, G. B. L.; MOURA, T. M.; KOIDE, S.; ALDO, N. (2009). **Avaliação da infiltração em revestimentos com superfícies permeáveis**. Fundación para el Fomento de la Ingeniería del Agua, Vol. 16, No 3. p 175-188.

TASSI, R. (2002). **Efeito dos microrreservatórios de lote sobre a macrodrenagem urbana**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 142 p.

TEIXEIRA, C. A. (2016). **Análise de viabilidade técnica e econômica do uso de água de chuva em uma indústria metalmeccânica na região metropolitana de Curitiba PR**. Gest. Prod., São Carlos.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. (2006). **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica**. Brasília: MMA. 302p.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. (1995). **Drenagem urbana**. 1.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS. 428p.

WANG H, GAO B, WANG S, FANG J, XUE Y, et al. (2015). **Removal of Pb(II), Cu(II), and Cd(II) from aqueous solutions by biochar derived from KMnO₄ treated hickory wood**. Bioresour Technol 197: 356–362.

Water in Zicht. Países Baixos. Disponível em: <www.water-in-zicht.nl>. Acesso em 04/05/2018.