


SISTEMAS DE DRENAGEM COMPENSATÓRIA UMA SOLUÇÃO LOCAL E REGIONAL DE DRENAGEM COM VIÉS SUSTENTÁVEL – ESTUDO DE CASO NO CAMPUS DA UFSCAR, SP

 <https://doi.org/10.56238/arev6n4-261>

Data de submissão: 17/11/2024

Data de publicação: 17/12/2024

Daniel de Lima Nascimento Sírío

Doutor em Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Professor adjunto I

E-mail: danielsirio@professor.uema.br

Orcid: 0009-0007-9129-2465

Lattes: 6103283444830947

Cláudio José da Silva de Sousa

Doutor em Geociências Aplicadas e Geodinâmica

Professor Adjunto II

E-mail: claudiojose@professor.uema.br

Orcid:0000-0002-1562-679X

Lattes: 7185168778984126

Karina Suzana Feitosa Pinheiro

Doutoranda em Geociências Aplicadas e Geodinâmica

Professora Assistente IV

E-mail: karinapinheiro@professor.uema.br

Orcid: 0000-0002-9915-2295

Lattes: 9144025427932716

RESUMO

A intensa urbanização gerada a partir do século XX e o surgimento dos grandes centros urbanos ocasionou uma considerável mudança no uso e ocupação do solo que passou a impermeabilizar extensas áreas resultando num aumento significativo do escoamento superficial. Entre os problemas decorrentes do crescimento desse escoamento podemos citar as inundações, alterações climáticas, interferência no ciclo hidrológico e balanço hídrico. O trabalho teve como objetivo levantar e organizar diversos estudos realizados e suas metodologias numa bacia hidrográfica aonde oito sistemas de drenagem compensatória foram instalados ao longo do tempo. Dentre esses sistemas estão elencados uma bacia de retenção, quatro poços de infiltração, um canal gramado e dois planos de infiltração, e o projeto paisagístico e diretrizes desses sistemas, todos recebendo água de coberturas prediais de edificações. O estudo levantou a caracterização dos sistemas, o projeto construtivo e os resultados obtidos pelos pesquisadores e como resultado estimou-se que no mínimo cerca de 20% do volume de escoamento superficial gerado na bacia não atingiu a rede de drenagem convencional. Outro aspecto importante foi concluir que além do controle da drenagem na bacia essas estruturas podem diminuir significativamente os custos de aquisição e implantação de manilhas e galerias da rede de águas pluviais urbanas.

Palavras-chave: Drenagem compensatória, Projeto construtivo, Poços de infiltração, Canal gramado, Planos de infiltração.

1 INTRODUÇÃO

O planejamento de gestão de águas pluviais é uma estratégia de gestão de recursos hídricos sustentável que identifica e desenvolve soluções para os problemas que podem ser gerenciados de forma mais eficaz que os projetos de drenagem ortodoxos, tanto em escala local, quanto em base regional. O produto desse processo de planejamento, tal como um plano sustentável de gestão regional de águas pluviais, abrange as fronteiras das propriedades individuais, bairros, municípios e até mesmo fronteiras intermunicipais (Peruci *et al.*, 2024). Um plano de sustentabilidade na gestão de águas pluviais pode apresentar diversas soluções de engenharia e segurança hídrica, bem como causa atenuações da emissão de águas pluviais em grande quantidade nas galerias pluviais demonstrando-se uma solução eficaz nas ocorrências de inundações localizadas; nas soluções de qualidade da água do escoamento superficial gerado nas bacias hidrográficas com o excesso de carga poluente; nas soluções dos volumes e qualidade da água que podem ser gerados pelo desenvolvimento e urbanização futura das cidades.

Devem-se ter em mente que a gestão das águas pluviais, com viés no planejamento regional, deve partir da combinação de regulamentação e de ações sob medida às necessidades específicas de uma determinada área de drenagem sem, no entanto, reduzir a proteção ao ambiente e à qualidade de vida nas cidades. Ao invés disso, deve-se permitir que os regulamentos, marcos legais, leis orgânicas, etc., deem mais flexibilidade para combinar condições urbanísticas, ambientais, sociais e econômicas, características de regiões que são interconectadas por uma área de drenagem comum (Assis *et al.*, 2024).

Participando diretamente, um dentre muitos outros agentes, o Poder Público deve ter como objetivo maximizar a eficiência dos serviços, equipamentos e infraestruturas urbanas que lhe são cabíveis, buscando prover o melhor serviço pelo menor preço e com a máxima eficiência. O objetivo do planejamento urbano é, sem dúvida, contribuir para a melhora e para a transformação social do ambiente urbano. O papel das cidades, como meio de reprodução social, e o uso da gestão urbana, como instrumento de engenharia social estão, intimamente, ligadas às noções de direito à cidade e se refere à inclusão urbana como forma de inclusão social (Lefebvre, 1972). Sob esta ótica, o planejamento urbano deve ser compreendido em todas as suas inter-relações e deve buscar condições de melhora na qualidade de vida urbana e social. Faz parte dessa demanda social, além das demais, o controle de inundações e das águas pluviais, que hoje, estão elencadas nos planos diretores das cidades. Esses planos diretores ganharam força, com a Lei Federal nº 10.257 de 2001, denominada Estatuto das Cidades¹. Essa lei apoia-se, no âmbito ambiental, na definição de áreas especiais e num sistema de

¹ http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm

avaliação de impactos, ainda, indefinido (TUCCI, 2001). Sobretudo, a estrutura institucional é a base do gerenciamento dos recursos hídricos urbanos e da sua política de controle. A definição institucional depende dos espaços de atribuição da organização do país, sua inter-relação tanto legal como de gestão em relação a água, ao uso do solo e ao meio ambiente (Tucci, 2001: 454p).

No Estado de São Paulo – SP, a Lei nº12.526², de 02 de janeiro de 2007, estabelece normas para a contenção de enchentes e destinação de águas pluviais que regulamenta a obrigatoriedade de implantação de sistemas para a captação e retenção de águas pluviais, coletadas por telhados, coberturas, terraços e pavimentos descobertos, em lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m², com os seguintes objetivos, dentre outros, (i) reduzir a velocidade de escoamento de águas pluviais para as bacias hidrográficas em áreas urbanas com alto coeficiente de impermeabilização do solo e dificuldade de drenagem; (ii) controlar a ocorrência de inundações, amortecer e minimizar os problemas das vazões de cheias e, conseqüentemente, a extensão dos prejuízos; (iii) contribuir para a redução do consumo e o uso adequado da água potável tratada e, dá também, orientações da forma de controle de saída da água após os eventos de precipitação como por exemplo, infiltrar-se no solo, preferencialmente, ou ser despejada na rede pública de drenagem, após uma hora de chuva, com a possibilidade dessa água ser utilizada em finalidades não potáveis, caso as edificações tenham reservatório para essa finalidade.

Em São Carlos, muito embora incipiente e só aplicável a novos loteamentos urbanos, a Lei Municipal nº13.246³ de 27, de novembro de 2003, dispõe sobre a implantação de um programa de construção de reservatórios de detenção ou de retenção de águas em conjuntos habitacionais, áreas comerciais e industriais, loteamentos ou parcelamentos em áreas urbanas e foi homologada para controle potencial de inundações e enchentes recorrentes na cidade. Basicamente, a lei relaciona a área total ao volume de água que o lote ou empreendimento deve reter em unidades de volume das precipitações meteorológicas, como também apresenta alguns instrumentos de controle de vazão de pico na fonte e sobre as características do equipamento de retenção, como por exemplo, a utilização de telhados e coberturas para retenção, ou a possibilidade de se construir formas orgânicas e paisagísticas com essas estruturas.

Já no Brasil, a experiência com o emprego de soluções de drenagem de desenvolvimento de baixo impacto, particularmente, no caso de sistemas infiltrantes, é pequena, sobretudo em contexto de trabalhos de pesquisa (Souza e Goldenfum, 2004; Tavanti e Barbassa, 2012). Segundo Canholi (2005),

² www.al.sp.gov.br/norma/?id=6947

³ <https://leismunicipais.com.br/sp/sao.carlos/lei-13246-2003-sao-carlos-sp.pdf>

a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) transformou-se em referência internacional nos últimos anos, através de ações da prefeitura, devido à utilização de técnicas inovadoras de drenagem urbana e implantação de cerca de 33 bacias de retenção, até 2003. Os primeiros reservatórios de retenção, até hoje funcionais, foram implantados em meados da década de 50, em Belo Horizonte na barragem Santa Lúcia e Lagoa da Pampulha (Baptista et al., 2011). No entanto, algumas Universidades Federais em todo Brasil se juntaram para produzir, difundir e dividir experiências em pesquisas voltadas a essa nova visão de drenagem e impulsionaram significativamente as produções científicas acerca da temática de drenagem sustentável nos últimos anos. Dentre essas universidades, a Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, é uma delas e que, ambiciosamente, utilizou a nova área de expansão do Campus para instalar diversas dessas estruturas de drenagem sustentável como forma de pesquisar objetivamente: as otimizações construtivas e de processos hidrodinâmicos de cada estrutura e suas combinações; as concepções paisagísticas, ecologicamente e higienicamente equilibradas (estudos de proliferação de vetores), confortáveis e orgânicas visualmente; os seus efeitos hidráulicos e hidrológicos tais como estudos de ondas de cheias, formação de picos de descarga, recarga freática, armazenamento de água no solo, etc; e, os efeitos ambientais tais como a remoção de poluentes e sólidos suspensos.

Dessa forma, esse trabalho é uma forma de representação e divulgação de um projeto de médio e longo prazo idealizado pelo Grupo de Estudos Hidrológicos (G-Hidro) na área de expansão da UFSCar, com especial atenção daqueles que criaram, mantêm e desenvolvem maneiras e condições de toda a equipe investigar a idealização da engenharia inovadora e, ao que a ciência indica, futurista e inegável a boa gestão municipal e regional de drenagem urbana, com respeito a unidade de gestão bacia hidrográfica. Para tal, documentaram-se detalhadamente na área em processo de consolidação urbanística da UFSCar, as estruturas de drenagem de baixo impacto que são inexoráveis construções de boas práticas de gestão sustentável de águas pluviais em funcionamento no Campus; seus principais processos e suas concepções de projeto; os métodos utilizados nos estudos e pesquisas realizados em cada uma das estruturas e seus objetivos; e, finalmente, os resultados de cada uma dessas pesquisas realizadas pela equipe do G-Hidro.

1.1 FINALIDADE DAS TÉCNICAS ALTERNATIVAS EM DRENAGEM URBANA

As inundações urbanas, as quais decorrem do escoamento superficial direto (ESD) das precipitações excedentes, constituem um problema recorrente em diversos municípios brasileiros. O conceito higienista de evacuação rápida dos efluentes gerados nas cidades foi o principal precursor desses problemas e predominou no mundo inteiro até o século XX, mas com a expansão territorial sem uma legislação e uma fiscalização que garantissem o disciplinamento adequado do uso e ocupação do solo, os problemas de alagamentos e inundações se intensificaram e se distribuíram ao longo dos centros urbanos (Righetto *et al.*, 2009).

Como forma de diminuir os efeitos gerados pelos excessos escoados, podem ser empregadas algumas técnicas de detenção e retenção difusas na bacia hidrográfica. Tais técnicas compensatórias, também conhecidas como sistema alternativo de drenagem, podem ser aplicadas em toda uma região, bem como em nível do lote propriamente dito ou loteamentos. Este sistema alternativo visa diminuir a quantidade de água nas galerias e rios durante o pico das chuvas por meio da infiltração da água no solo, da diminuição da velocidade de escoamento e do aumento da taxa de evapotranspiração, possibilitando a proteção da qualidade da água e a implantação de paisagens ambientalmente agradáveis. Essas tecnologias também são consideradas alternativas por considerarem os impactos da urbanização de forma global, tomando a bacia hidrográfica como referência. Ou seja, a compensação se dá pelo controle da precipitação excedente, com o intuito de evitar sua transferência rápida para as áreas à jusante (Baptista *et al.*, 2011).

Nesse contexto, por volta dos anos 70 nasceu o conceito de tecnologias alternativas de drenagem urbana em substituição ao conceito higienista procurando estabelecer alternativas ao conceito de evacuação rápida, reconhecendo-se a água pluvial também um problema de saneamento e desenvolveu-se uma crescente pressão para que fossem coletadas e até tratadas, para tanto, foram necessárias obras de retenção e amortecimento de escoamentos, como pavimentos permeáveis, superfícies, poços, planos, trincheiras e valas de infiltração, reservatórios e lagos de detenção. Essa nova concepção teve maior impulso a partir dos anos 80 até os dias atuais (SILVEIRA, 2002). De acordo com Righetto *et al.* (2009), o conceito de desenvolvimento sustentável tem sido usado como base nas políticas ambientais de alguns países desenvolvidos e a demanda por esse conceito tem produzido impacto relevante na concepção dos sistemas de drenagem nos últimos anos.

As soluções alternativas para lidar com a gestão das águas urbanas começam a ser propostas, buscando promover o retardamento dos escoamentos, aumentando o tempo de concentração e, conseqüentemente, diminuindo o pico de cheias, a fim de se evitar as perturbações causadas pelas inundações. Essas soluções preveem a redução dos volumes de escoamento superficial por meio de

sua contenção no local da precipitação utilizando métodos que se baseiam no aumento das áreas de infiltração ou no armazenamento temporário em reservatórios (Canholi, 2005). Uma outra preocupação que surgiu concomitantemente, está relacionada à qualidade desse escoamento excedente que, em geral, segundo Tucci (2005), a quantidade de material suspenso na drenagem pluvial é muito superior à encontrada no esgoto *in natura*. De acordo com Tomaz (2009) é muito difícil estimar o valor de sólidos totais em suspensão presentes nas águas pluviais, pois o mesmo pode variar de 114 mg/L até aproximadamente 4000 mg/L dependendo da situação local.

Segundo Urbonas e Stahre (1993), muitos estudos mostram que a concentração de poluentes é maior no início do processo de escoamento, dependendo da intensidade e duração da chuva e a poluição difusa de origem pluvial inicia-se com o arraste dos poluentes atmosféricos pela chuva e termina por meio do escoamento superficial, sendo esse responsável direto pelo transporte dos poluentes dispostos sobre a superfície das áreas urbanas até o lançamento no corpo receptor. Portanto, nota-se claramente a relação direta entre a poluição difusa e o ciclo hidrológico. Para Schueler (1987) os primeiros 25 mm de escoamento superficial transportam a maior parte da carga poluente de origem pluvial.

Conforme Tucci (2012), são os primeiros quinze minutos de chuva que representam maior fonte de poluição, enquanto Tomaz (2011) considera que são os primeiros 10 minutos de chuva. Luca e Vasquez (2000) *apud* por Reis et al., (2008) analisaram os padrões físico-químicos da água pluvial na região metropolitana de Porto Alegre e descobriram elevados teores de amônia, fosfato, cromo e mercúrio. Ao analisarem amostras de água de chuva precipitada sobre o telhado de um bloco da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, May (2004) encontraram coliformes totais em 89% das amostras e coliformes fecais em 50% das amostras, indicando elevado grau de contaminação bacteriológica. A qualidade da água pluvial depende de vários fatores como frequência da limpeza urbana, intensidade da precipitação e sua distribuição espacial e temporal e uso e ocupação da área urbana (Tucci, 2001). A identificação dos agentes poluidores, sua origem e seus impactos, bem como sua forma de remoção são imprescindíveis para evitar efeitos danosos na qualidade das águas, como, por exemplo, a contaminação do lençol freático e a eutrofização de corpos de água.

Segundo Moruzzi *et al.* (2016), essas novas técnicas alternativas em drenagem urbana, também conhecidas como medidas compensatórias de drenagem, mantêm o conceito de neutralizar os efeitos do processo de urbanização sobre os processos hidrológicos utilizando-se técnicas que tratam o escoamento pluvial no local em que é gerado, chamando-o de controle na fonte da drenagem pluvial, no qual, visa à redução por meio dos processos de armazenamento, detenção, retenção e infiltração das águas do escoamento pluvial.

Por volta dos anos 90, surgiu uma nova abordagem de gestão sustentável de drenagem, conhecida como Desenvolvimento de Baixo Impacto (Low Impact Development – LID), no qual, busca compatibilizar o *layout* das estruturas, atendendo a paisagem e satisfazendo as exigências estéticas como uma característica das águas urbanas. Para isso ocorrer é necessário que se mantenha a eficácia no tratamento das águas pluviais e o não comprometimento no comportamento hidrodinâmico do sistema (Persson *et al.*,1999). Por isso a gestão das águas urbanas deve estar associada com o planejamento das cidades e seu dinamismo. É necessária a adoção de soluções de caráter multidisciplinar, em que sejam analisados de forma integrada todos os aspectos voltados às obras de infraestrutura e de planejamento urbano (Canholi, 2005). Deve-se considerar o desenho da malha urbana e sua expansão, o zoneamento de atividades, a rede viária e de transportes, aspectos paisagísticos, dentre outros, a fim de obter benefícios econômicos, estéticos e ecológicos (Pompêo, 2000).

2 ÁREA DE ESTUDOS E SISTEMAS DE DRENAGEM COMPENSATÓRIA

Os sistemas investigados foram construídos em escala real no campus da Universidade Federal de São Carlos, na cidade de São Carlos (UFSCar) – SP, que se constitui na área de expansão da UFSCar e todos dentro de uma mesma bacia hidrográfica. O primeiro sistema implantado foi o sistema combinado denominado Filtro-Vala-Trincheira (FVT), construído em 2010, que coleta água precipitada no telhado do Edifício de Medicina I no Campus que é formado por uma bacia de retenção, um filtro gramado e uma trincheira de infiltração. Esse sistema funciona até hoje e tem característica robusta de engenharia dado que foi o primeiro sistema a ser implantado e pesquisado. Nele foram feitas, e ainda são realizadas, diversas pesquisas de qualidade da água pluvial que determinaram as características hidrodinâmicas e o projeto construtivo por Lucas (2011a), a remoção de poluentes e particulados por Gutierrez (2011), o volume escoado superficialmente e o volume capaz de recarregar o lençol freático por Sirio (2014) e a retenção de água no solo da área abaixo do sistema FVT por Sirio *et al.*, (2020).

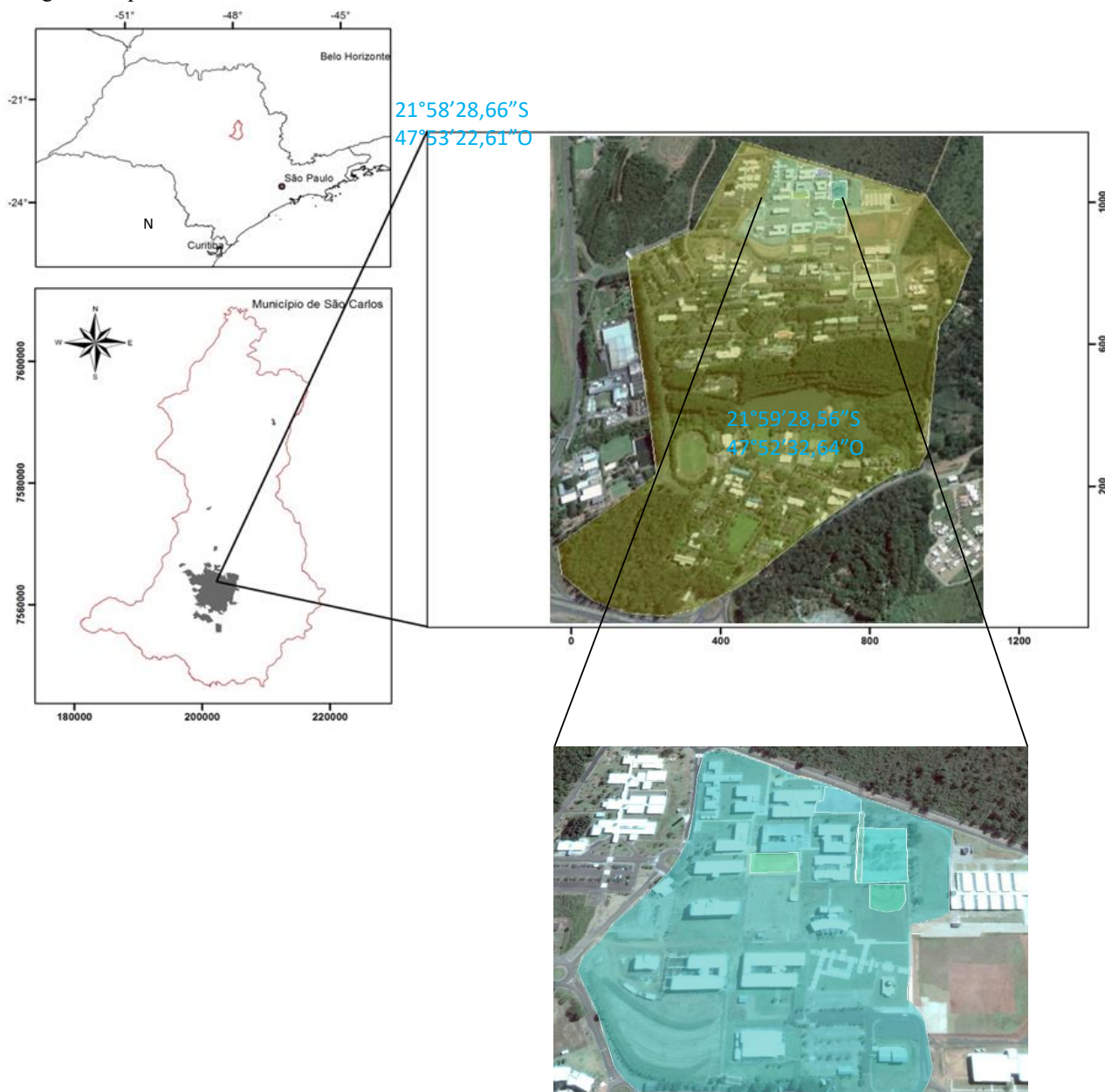
O segundo equipamento de drenagem instalado foi o Poço de Infiltração I, implantado em 2010. Nesse sistema foi coletada a água pluvial de metade do telhado do Edifício de formação de professores do Campus. Esse poço foi estudado por Sobrinha (2012) utilizando o método de PULS para avaliar o comportamento hidrodinâmico no poço. O terceiro equipamento de drenagem instalado foi o Plano de Infiltração I que recolhe a água do telhado e de uma área extensa de entorno do Edifício de Fisioterapia do Campus. Esse sistema foi estudado por Tecedor (2013) na avaliação do custo de implantação e também do contexto hidrodinâmico. Esse plano de infiltração tem como exutório o quarto sistema

instalado que foi o Canal Gramado implantado na microbacia experimental, localizada na zona norte da universidade, com finalidade de manejo de água pluvial dos prédios do Departamento de Medicina II e Gerontologia e foi pesquisado por Shinzato (2015) e Felipe (2014) e leva parte do volume de água gerado por esses edifícios até o Plano de Infiltração II o qual foi o quinto sistema instalado. No canal gramado foi pesquisada a remoção de particulados provenientes de um simulador de chuvas com concentração de sólidos suspensos conhecida.

No quinto sistema, segundo plano de infiltração que é o exutório do canal gramado, foi realizado um trabalho de paisagismo conjuntamente com o paisagismo do segundo sistema (poço de infiltração) pesquisado e pela pesquisadora Pereira (2016). O objetivo desse trabalho foi criar harmonia entre os sistemas e os projetos arquitetônicos dos edifícios, gerando assim uma área agradável ao olhar, funcional do ponto de vista hidrológico, ambiental e orgânico as construções, dando um maior conforto ambiental, social e visual aqueles transeuntes e pessoas que utilizam o espaço. O sexto sistema instalado na área foram os Poços de Infiltração II e III construídos próximos ao Laboratório de Biopolímeros do Campus, e têm a finalidade de receber as águas provindas desse edifício. Esses dois poços foram estudados e projetados por Ferreira (2016) que pesquisou a hidrodinâmica deles em relação as diferenças construtivas de cada um deles.

O sétimo e último equipamento de drenagem compensatória instalado foi outro poço de infiltração no Edifício de formação de professores (Poço de Infiltração IV), cujo objetivo é coletar o volume de água pluvial gerado na outra metade do telhado do edifício. Na Figura 1 está representado em amarelo a área urbana do Campus e em azul a bacia hidrográfica da área de expansão do Campus da UFSCar, São Carlos – SP.

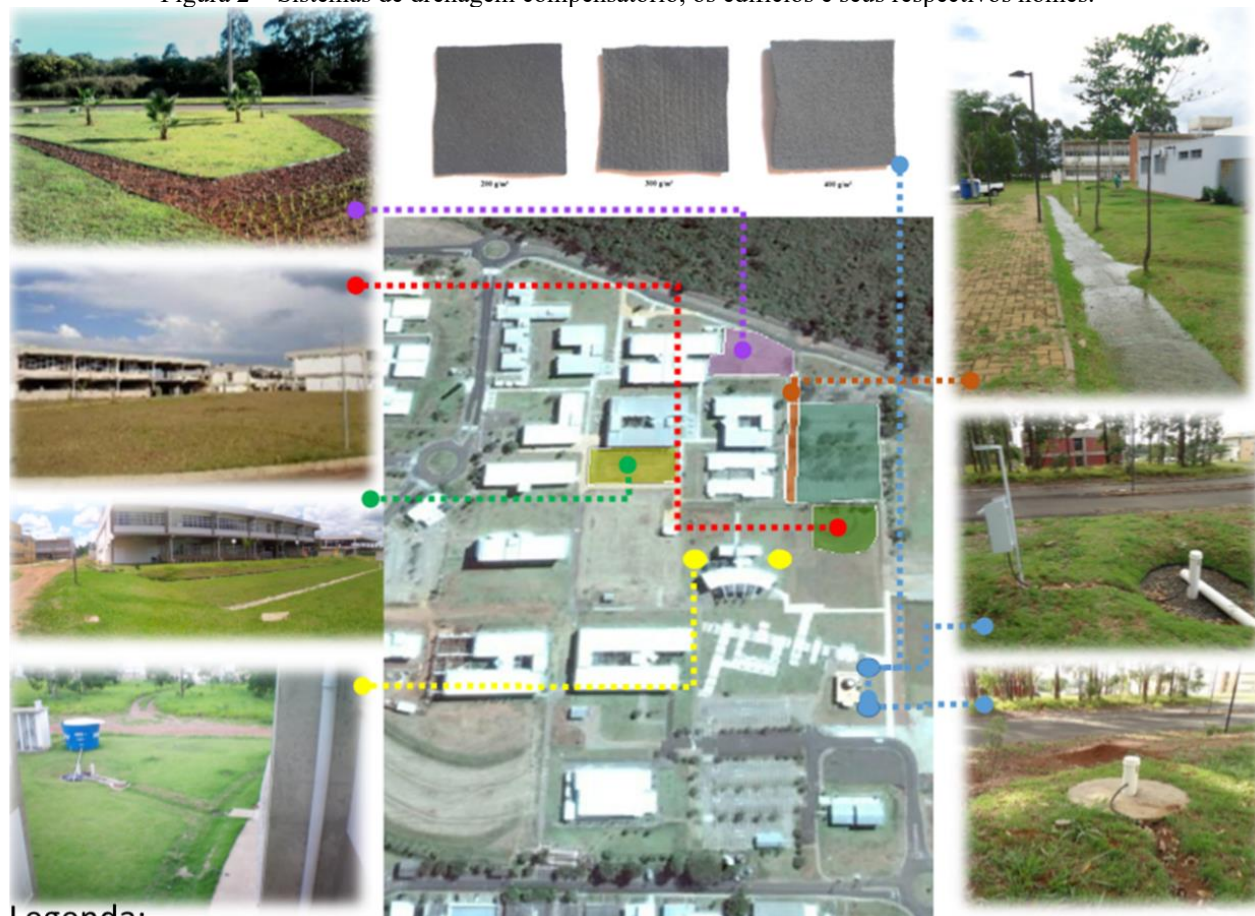
Figura 1 - Localização do Campus da UFSCar em São Carlos, da bacia hidrográfica onde estão implantadas 8 obras de drenagem compensatória



Fonte: Google Earth

Na Figura 2 estão representados os sistemas de drenagem compensatório, os edifícios e seus respectivos nomes.

Figura 2 – Sistemas de drenagem compensatório, os edifícios e seus respectivos nomes.



Legenda:

- FVT ● Poços de Infiltração I ● Plano de infiltração I
- Canal Gramado ● Plano de infiltração II ● Poços de infiltração II e III

3 SISTEMAS DE DRENAGEM COMPENSATÓRIA INSTALADAS NA UFSCAR

3.1 AS TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO

Estruturas de infiltração objetivam minimizar os efeitos da urbanização, da impermeabilização do solo, do aumento do escoamento superficial direto (ESD) e das inundações, agindo na origem da produção do ESD. As trincheiras de infiltração são dispositivos lineares que têm o objetivo de captar, armazenar e infiltrar uma parcela do escoamento superficial gerado numa determinada área, reduzindo o volume da água pluvial que chega até as galerias e retardando os picos do hidrograma de cheias. Essa estrutura pode funcionar como reservatório de amortecimento de cheias, proporcionando a redução dos volumes e das vazões máximas e restabelecer parte da infiltração que é perdida com a urbanização da bacia hidrográfica (SOUZA, 2002; GRACIOSA et al., 2008b; LUCAS, 2011; SIRIO, 2014). Pode-se utilizar trincheiras em associação com outros sistemas, como por exemplo o sistema filtro-vala-trincheira (FVT) estudado e modelado por Lucas (2011) em relação aos custos de implantação e ao dimensionamento do projeto construtivo, por Gutierrez (2011) que estudou a remoção de poluentes no

filtro gramado do sistema e por Sírío (2014) que avaliou a recarga freática do aquífero pelas águas pluviais coletadas.

O objetivo do trabalho de Lucas (2001) foi monitorar e modelar o sistema FVT, construído no campus da UFSCar em escala real para retenção do ESD produzido por áreas impermeabilizadas. Além disso o projeto construtivo do sistema FVT mostrou que o sistema foi construído em solo caracterizado como areia média argilosa, com capacidade de infiltração entre $2,30 \times 10^{-5} \text{m/s}$ e $6,05 \times 10^{-6} \text{m/s}$, obtidas em ensaio de campo com duplo anel e poço invertido, respectivamente. Fez-se o monitoramento do sistema FVT através de medidas de precipitação, vazão afluente ao sistema, nível de água armazenado na trincheira e vala de infiltração e verificação do funcionamento do sistema durante as chuvas.

Foram monitorados 60 eventos de chuva com até 48 anos de período de retorno, sem registro de extravasamento do sistema. Observaram-se diferenças entre projeto e operação do sistema, como área de captação, área de infiltração e perdas no canal diafragma de distribuição. Compararam-se o teor de finos da brita de preenchimento e da areia do filtro e a permeabilidade do geotêxtil da trincheira de infiltração, amostrados após a construção e após o funcionamento de um ano do sistema. Após o período de funcionamento, a brita de preenchimento e a areia do filtro apresentaram redução do teor de finos em média de 29% e 58%, respectivamente. O geotêxtil apresentou colmatação parcial e redução de sua permeabilidade em média em 45%. Modelou-se o sistema de infiltração utilizando PULS e o modelo SWMM. A modelagem pelo método de PULS possibilitou representar as etapas de funcionamento do sistema FVT e nível de armazenamento de maneira satisfatória. Gráficamente, as curvas de nível de armazenamento são semelhantes, com valores médios de coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) de 0,43, de erro absoluto de nível máximo de 29% e de erro absoluto dos tempos de esvaziamento de 36%, obtidos na validação do modelo.

A modelagem utilizando SWMM possibilitou a simulação da microbacia composta pelo Edifício do Departamento de Medicina e sistema FVT de maneira insatisfatória e apresentando limitações. A validação do modelo resultou em erros médios absolutos das vazões de pico afluente ao sistema de 58%, de volume afluente de 35%, de nível máximo de armazenamento 72%, de tempo de esvaziamento de 79%, de NS médio das vazões afluentes de 0,02 e de NS médio dos níveis de armazenamento de -0,79. As modelagens utilizando SWMM resultaram em menores níveis de armazenamento e menores tempos de esvaziamento do que aquelas utilizando PULS. A manutenção do sistema FVT resumiu-se em serviços de limpeza do terreno, remoção de sedimento do canal de medição e serviços de jardinagem. O custo de manutenção do sistema em seu primeiro ano de funcionamento foi de R\$85,00/mês ou R\$0,67 por unidade de área impermeável drenada, considerado alto em relação aos custos de manutenção de sistemas de drenagem convencional.

Gutierrez (2011) pesquisou o monitoramento do sistema FVT a partir da avaliação da qualidade da água do escoamento superficial direto predial antes e após passar pelo sistema de infiltração proposto, paralelo ao monitoramento da qualidade da água de chuva, mediante análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos estabelecidos em legislação e em experiências nacionais e internacionais, comparadas às condições da área de estudo, e análise exploratória dos dados por duas técnicas quimiométricas: Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise Hierárquica de Agrupamentos (HCA). De acordo com a análise da autora a variação dos resultados obtidos, sobretudo, da qualidade da água atmosférica e da qualidade da água do escoamento superficial direto, obtiveram-se como resultados concentrações sensivelmente menores dos parâmetros Turbidez, Cor, ST, STD, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal, Sulfato, Cloreto, Cádmiio, Cobre, Chumbo e Zinco analisados nas amostras de água diretamente da chuva, comparando-se com estudos precedentes na literatura e normas e legislações de recursos hídricos vigentes. O sistema filtro-vala-trincheira de infiltração removeu os seguintes parâmetros analisados, comparando-se com a água do escoamento superficial direto predial no canal: Zinco (90,89%), Cobre (88,31%), Condutividade Elétrica (31,40%), Nitrogênio Amoniacal (24,32%) e Cloreto (5,88%). Com relação às análises por PCA, evidenciaram-se as características entre as amostras de acordo com as condições de amostragem (dia, mês, local e tempo) e variáveis analisadas, dividindo em grupos de amostras e contribuindo para a extração e interpretação das informações que dificilmente seriam visualizadas diretamente na matriz de dados. As análises por HCA complementaram as análises por PCA.

No trabalho de Sírío (2014), objetivou-se modelar e estimar o volume de água infiltrado no solo do FVT que é capaz de contribuir com a recarga freática. A modelagem foi realizada por meio do método de armazenamento e variação da armazenagem no solo com utilização de tensiômetro e de forma digital utilizando-se do software Hydrus 2D/3D. O sistema de drenagem monitorado e o diagramado digitalmente foram constituídos de uma bacia de retenção de água, uma vala ou filtro gramado e uma trincheira de infiltração.

Na tentativa de estimar a recarga freática realizaram-se, conjuntamente, análises de solo, investigações geofísicas, medidas de vazão, coleta de dados de chuva, além do monitoramento contínuo em 454 dias do sistema através da instalação de tensiômetros no local, pluviógrafos, além da construção de curvas bimodais de retenção de água nos solos por meio do método do papel filtro. A partir da identificação dos potenciais mátricos do solo, da condutividade hidráulica em condições saturadas para as profundidades monitoradas e da obtenção das curvas características do solo, foi possível calcular o teor de umidade em diferentes profundidades, identificar o plano de fluxo zero e calcular os volumes em movimento na matriz do solo. Os resultados obtidos pela verificação das

Curvas de Retenção de Água no Solo (CRAs) e umidades de campo foram pouco expressivos a partir de 80 cm de profundidade, entretanto, a recarga estimada obtida pelo método dos tensiômetros e pelo modelo digital Hydrus ficou em torno de um valor médio de 45% do volume total precipitado. Estudos avançados e ainda em execução demonstram que a capacidade do sistema em recarregar o aquífero é enorme e representa uma ótima solução para a reutilização do volume de água pluvial coletado pelos edifícios e entorno do sistema FVT.

3.1.1 O projeto construtivo do sistema FVT no Campus da UFSCar

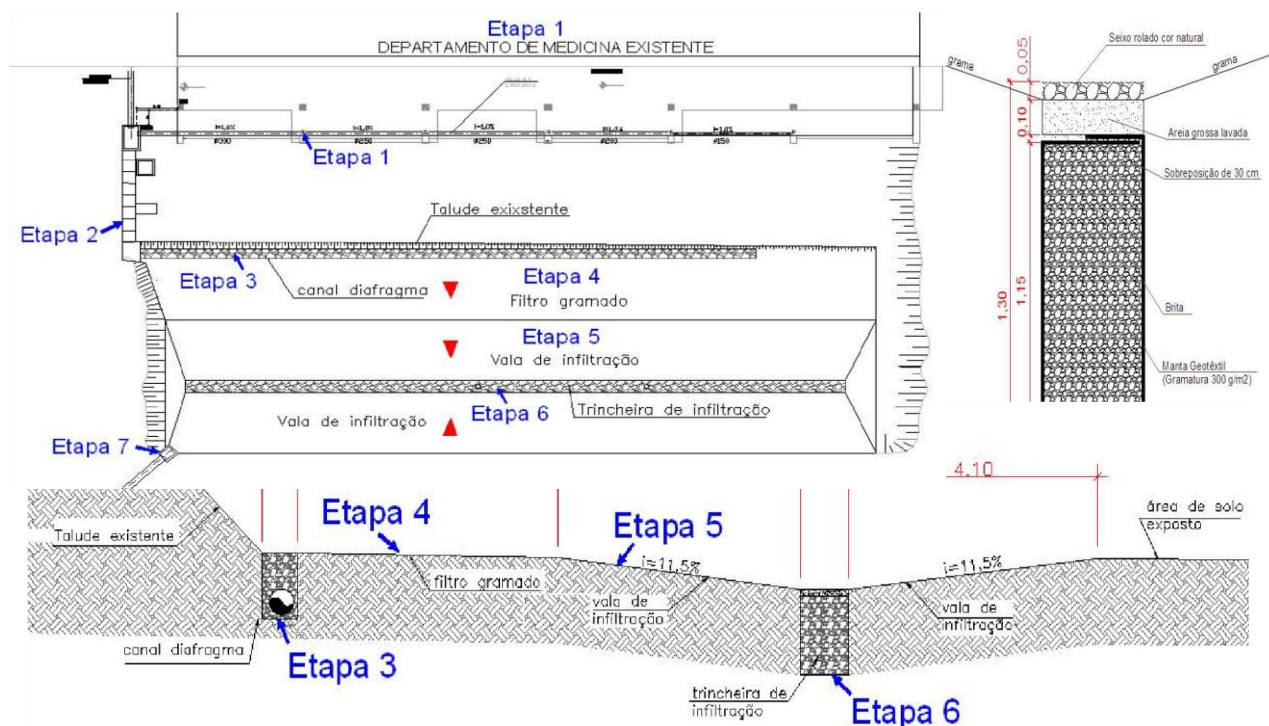
O sistema FVT foi projetado para captar a água de escoamento gerada pela cobertura e entorno do edifício, cujas áreas de contribuição correspondem a 1701,3m² de cobertura predial e 2200m² de área gramada (GUTIERREZ, 2011). Segundo Gutierrez (2011), no funcionamento do sistema a água captada pela cobertura predial pode ser detalhada em 7 etapas. Na primeira etapa a água advinda da precipitação é coletada pela cobertura do edifício do Departamento de Medicina e direcionada para as ligações prediais que levam o volume captado para uma canaleta de 0,60m de largura.

Na segunda etapa o nível de água afluyente é medido dentro da canaleta para o cálculo de vazão e volumes captados. Na etapa seguinte o volume captado passa por um vertedor e entra em uma caixa de passagem que direciona a água para um distribuidor de água do filtro gramado. Este distribuidor é constituído por uma tubulação de 250mm de PVC perfurado, recoberto por brita e envolto em lona plástica. Na quarta etapa, o escoamento é direcionado e distribuído uniformemente por um filtro gramado. Este filtro possui inclinação de 2% e diminui consideravelmente a velocidade do escoamento promovendo uma maior infiltração de água no solo e também o armazenamento nas depressões do solo. Na quinta etapa, depois de o volume de água distribuído passar pelo filtro, será então direcionado para a vala de infiltração que possui declividade próxima de 11,5%.

Na etapa seguinte a água é direcionada e retida na trincheira de infiltração. Na última etapa, em caso de extravasamento e volume de água superior a capacidade do sistema, o volume excedente será direcionado para uma caixa construída na bacia, a 1,75m de altura em relação ao fundo da trincheira, para direcionamento do volume extravasado para a rede de drenagem pluvial convencional (GUTIERREZ, 2011; LUCAS, 2011; SÍRIO, 2014). Segundo Lucas (2011) e Gutierrez (2011), o lençol freático não foi identificado durante a construção e implantação do sistema FVT e equipamentos de medições de vazão e coleta de amostras e afirmam que o nível está mais profundo que 2,00m. Nessa área, foram realizados ensaios de permeabilidade em campo (duplo anel e permeômetro de Guelph) e em laboratório, além de ensaios de compactação, granulometria conjunta, índices físicos e massa dos

sólidos. A Figura 3 é a concepção básica do projeto do sistema FVT em planta baixa, perfil e detalhe da construção da trincheira.

Figura 3 – Projeto construtivo do FVT



3.2 OS POÇOS DE INFILTRAÇÃO

Os poços de infiltração são sistemas pontuais que reservam certo volume nos momentos de pico e, em seguida, infiltram no solo a água acumulada, atuando na recarga do lençol freático. Essas estruturas visam restabelecer ou manter o balanço hídrico natural do período de pré-desenvolvimento, por meio da infiltração da água pluvial no solo até que este reduza sua capacidade de absorção. Um estudo realizado em 2005 analisou o impacto da recarga de água subterrânea realizada por 3.763 poços de infiltração instalados na cidade de Chandler, Arizona, EUA.

Foi constatado que na situação de pré-desenvolvimento a recarga foi de 2×10^5 m³ de água por ano. A recarga na situação de pós-desenvolvimento através dos poços de infiltração foi estimada em aproximadamente dez vezes maior, com uma média de 3×10^6 m³ de água por ano, considerando o período de chuva e de estiagem (Graf, 2015). Há ainda poços de infiltração construídos com materiais reciclados, tornando sua utilização mais viável e sustentável, uma vez que reutiliza os resíduos de construção civil, pneus, entre outros (Carvalho e Lelis, 2010).

Reis *et al.* (2008) apontam que uma das vantagens dos poços de infiltração é que eles podem ser instalados onde a camada superficial é pouco permeável mas que tenha infiltração adequada nas

camadas mais profundas e que esses poços de infiltração integram-se às soluções urbanísticas uma vez que ocupam pouco espaço e podem passar despercebidos se isto for uma escolha do projetista (Suderhsa, 2002; Silveira 2002; Souza 2002). Os poços de infiltração são dispositivos apropriados para um controle distribuído dos excessos pluviais, permitindo uma economia significativa na construção de redes pluviais convencionais. Uma possível desvantagem é o relativo pequeno volume de armazenamento dos poços, mas isso pode ser superado associando-os à outras medidas compensatórias (Silveira, 2002).

O trabalho de Sobrinha (2012), realizou um estudo experimental de um poço de infiltração construído em escala real no Campus da Universidade Federal de São Carlos – SP com o objetivo de avaliar seu desempenho como estrutura compensatória de drenagem urbana no controle do escoamento superficial e na remoção de material em suspensão. O solo foi caracterizado como Areia Média Argilosa – SC, com capacidade de infiltração entre 93,38 mm/h e 19,24 mm/h, valores obtidos em ensaios de campo pelos métodos de poço invertido e de duplo anel respectivamente. No dimensionamento utilizou-se o método da Curva Envelope e intencionalmente não foram seguidas as recomendações de segurança para projeto. Com auxílio de equipamentos eletrônicos e das medidas de precipitação, foram monitorados 22 eventos de chuvas reais e chuvas simuladas, durante 11 meses de funcionamento do poço. Neste período não houve registro de extravasamento do poço, representando uma eficiência de 100% na redução do volume escoado. Após oito meses de seu funcionamento foram realizados ensaios da permeabilidade do geotêxtil, do teor de materiais pulverulentos dos agregados ao poço, ou seja, a brita e a areia que compõem o filtro da tampa, e dos parâmetros qualitativos: cor aparente e turbidez. O geotêxtil apresentou redução média da permeabilidade de 50,7%, 7,7% e 21,2% nas amostras do fundo, paredes e tampa do poço respectivamente. A areia do filtro da tampa reteve 34,8% de finos, enquanto a brita reteve 0,13% de finos no mesmo período. Com relação á remoção da cor aparente e da turbidez constatou-se que o poço não se caracteriza como uma unidade de tratamento desses parâmetros, tal fato provavelmente se deve à qualidade da água do telhado que representa a entrada de água na estrutura. Para a modelagem pelo método de Puls a permeabilidade do solo saturado definida como K não otimizado (Kno) foi calculada para cada evento monitorado. O Kno foi ajustado através de regressão não-linear (K otimizado - Ko), restringindo os parâmetros com base nos valores obtidos nos ensaios de campo, dessa forma para cada evento monitorado obteve-se duas modelagens para os valores de K constantes (Kno e Ko). A representatividade do modelo foi avaliada por meio dos coeficientes de explicação que variaram de 0,68 a 0,98 para os eventos modelados com os valores de Ko, e de 0,02 a 0,76 para o Kno, sendo o Ko mais representativo para a modelagem de Puls.

Ferreira *et al.* (2013) projetaram um poço associado a um plano de infiltração para drenagem pluvial de um edifício na Universidade Federal de São Carlos, localizado no município de São Carlos-SP. Os resultados obtidos foram satisfatórios em termos desconexão da rede pluvial de drenagem convencional, garantindo a função hidrológica e também urbanística do projeto. Como toda medida compensatória de infiltração, os poços não permitem grandes cargas de sedimentos e poluentes (Silveira, 2002). Caso os fluxos provindos das áreas impermeabilizadas forem considerados de alto risco pelo projetista, os escoamentos devem ser desviados ou tratados previamente em estruturas especiais, como decantadores ou filtros, antes de serem encaminhados para os poços de infiltração (Carvalho e Lelis, 2010; Silveira, 2002).

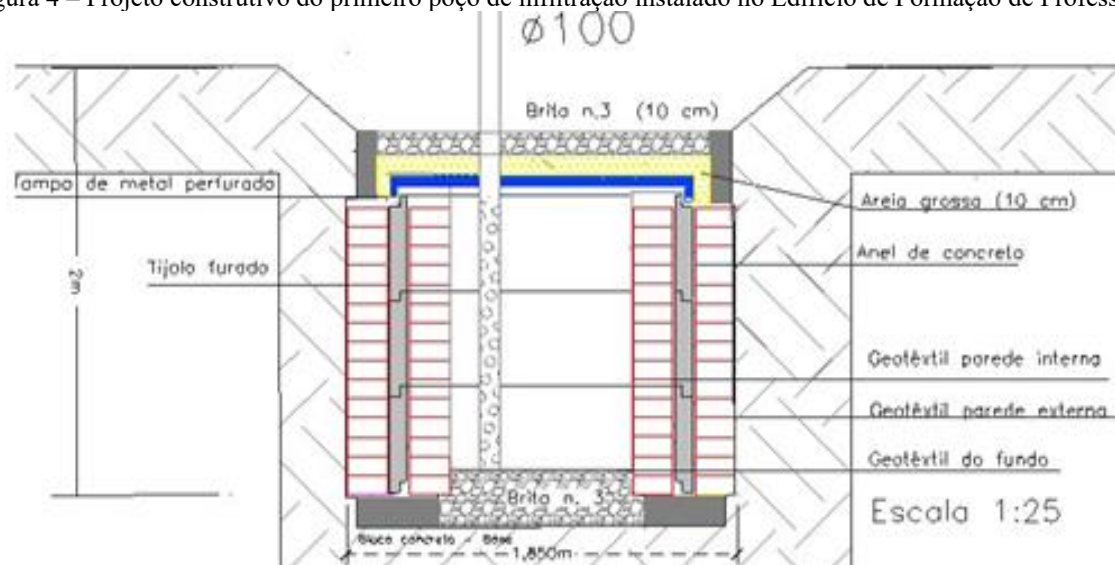
3.2.1 O projeto construtivo dos poços de infiltração no Campus da UFSCar

O primeiro poço de infiltração instalado na área foi instalado no Edifício de Formação de Professores do Campus e recebe as águas provenientes de parte do telhado do Núcleo de Formação dos Professores. O poço foi construído com anéis de concreto perfurado e revestido com manta geotêxtil. O tubo de PVC perfurado serve de suporte para a instalação do medidor de nível que foi colocado no interior da estrutura, e para coleta das amostras de água. As laterais internas e externas do poço foram revestidas com tijolos furados e manta geotêxtil. Sua base foi assegurada com bloco de concreto, e no fundo do poço foi colocada uma camada de 20cm de brita nº 3. O dispositivo de entrada do poço contém: uma tampa de metal, manta geotêxtil, uma camada de 10cm de areia grossa e uma camada superficial de brita nº 3. O anel de concreto possui 1,45m de diâmetro externo, 1,35 m de diâmetro interno e contém oito furos na parede lateral de 50mm de diâmetro cada.

Os anéis de concreto foram encaixados uns aos outros e colocados no poço mecanicamente em blocos de concreto de dimensões 19x14x30 cm e servem para dar estabilidade ao anel já que o solo não foi compactado. Foram dispostos tijolos nas paredes interna e externa dos anéis de concreto com objetivo de assegurar que a terra não volte para dentro do poço, e melhor distribuir a água beneficiando a infiltração pelas paredes do poço. Um dos motivos que explicam a necessidade das camadas de tijolos internas e externas é a necessidade de aumentar a área de infiltração das paredes do poço, pois somente as áreas dos furos dos anéis de concreto poderiam não beneficiar a infiltração das águas através das paredes. O tijolo selecionado é o tijolo furado com dimensões de 19x9x19 cm e com oito furos de 3,3 cm de diâmetro.

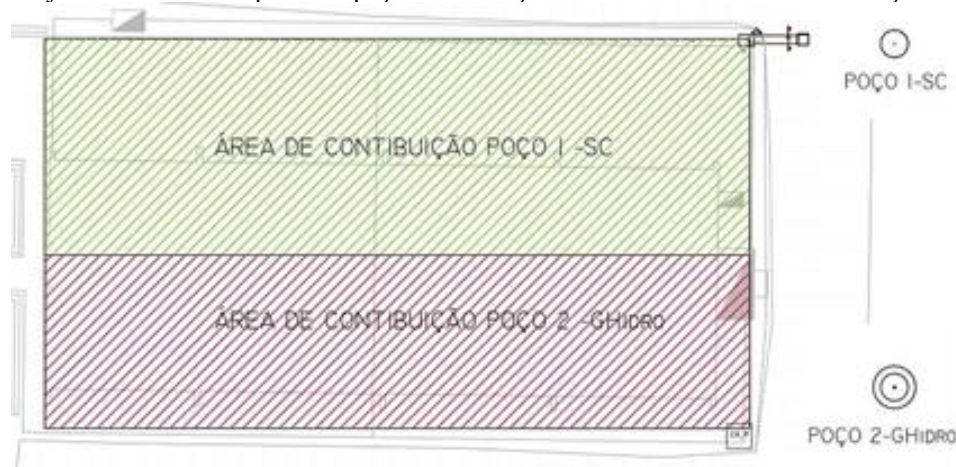
Na Figura 4 está representado o projeto construtivo do primeiro poço de infiltração instalado no Edifício de formação de professores.

Figura 4 – Projeto construtivo do primeiro poço de infiltração instalado no Edifício de Formação de Professores



Nos Poços de Infiltração II e III construídos próximos ao Laboratório de Biopolímeros do Campus cuja ordem, sétima estrutura de drenagem instalada no Campus dimensionada por Ferreira (2016), avaliou seis parâmetros físicos que foram a topografia, a existência de exutório permanente, a permeabilidade saturada do solo, o nível das águas subterrâneas, o aporte permanente de água e a estabilidade do subsolo; três de infraestrutura e urbanísticos que são a disponibilidade de espaço, as redes existentes e a inclinação e forma do telhado; e, três parâmetros ambientais sendo eles o risco de poluição, o risco de águas com fins e o risco sanitário. O dimensionamento dos poços foi feito conforme o Código de Obras e Edificações do município de São Carlos. A área de contribuição total do edifício é de 468,35 m². O Poços de Infiltração II recebe escoamento de 287,80 m² referente ao pátio e à metade do telhado, e o Poços de Infiltração III recebe o escoamento referente aos 180,55 m² do telhado restante (Figura 5).

Figura 5 – Projeto construtivo do primeiro poço de infiltração instalado no Edifício de Formação de Professores



O dimensionamento do Poços de Infiltração II de acordo com a Lei Municipal nº 15.958⁴ de 2011 demandou um volume de armazenamento de 1,44 m³. Como os poços foram construídos com anéis de concreto pré-moldados, foram utilizados 4 anéis. Para efeito de comparação, os dois poços foram construídos com o mesmo número de anéis. O volume útil de armazenamento do Poços de Infiltração III, no entanto, é maior devido ao espaço com brita nas laterais entre o solo e os anéis de concreto e na tampa. No artigo 79 desta legislação consta que o volume do reservatório de retenção ou retenção deve ser calculado na razão de 5 litros para cada metro quadrado impermeabilizado do terreno.

3.3 PLANO DE INFILTRAÇÃO

Define-se plano de infiltração comumente áreas rebaixadas cobertas com gramados laterais que recebem água pluvial vindas de superfícies impermeáveis (Tecedor, 2015). Esses planos reduzem os poluentes, necessitando a construção de estruturas de drenagem urbana sustentável a jusante desses planos (Moura, 2005). Baptista et al. (2011) definem planos quando suas dimensões longitudinais não são muito maiores que as transversais e com profundidade reduzida. Esse tipo de estrutura deve ser utilizado em terrenos com baixa declividade, visto que em terrenos acidentados a água ganha velocidade e permanece pouco tempo em contato com o solo não permitindo sua adequada infiltração, principal característica desse dispositivo (Holz e Tassi, 2007).

Kobayashi et al. (2008) mencionam como pontos positivos desse tipo de estrutura, o fato de permitir a infiltração de parte da água para o subsolo, retardar o deflúvio superficial direto e ser esteticamente agradável. Como aspectos negativos o autor menciona que os planos com declividade

⁴ http://www.saocarlos.sp.gov.br/images/stories/legislacao_urbanistica_municipal/lei15958%20-%20Codigo%20de%20Obras.pdf

maior que 0,1% não devem ser usados, pois o transporte de material sólido para a área de infiltração poder reduzir sua capacidade de infiltração; o acúmulo de água no plano durante o período chuvoso impede o trânsito sobre a área; áreas gramadas devem ser podadas periodicamente, incluindo custos de manutenção. Existem poucos estudos na literatura repostando-se aos planos de infiltração, mostrando que essas estruturas necessitam ainda serem experimentadas.

Tecedor (2014) teve como objetivo projetar, construir, monitorar e modelar um plano de infiltração, construído em escala real, para manejo de águas pluviais do prédio com área de 3.001,3 m². Os recursos vieram do Projeto MCT/FINEP/Ação Transversal Saneamento Ambiental e Habitação 07/2009 – MAPLU2 – Manejo de Águas Pluviais Urbanas 2. Para tanto, a autora realizou a caracterização do solo considerando os índices físicos, granulometria, permeabilidade, grau de compactação e perfil do solo. O levantamento da infiltração da água no solo realizou-se com ensaios de duplo anel. Um dos objetivos do estudo foi verificar se a técnica compensatória plano de infiltração atendia a seis aspectos físicos, três aspectos urbanísticos e de infraestrutura, dois aspectos sanitários e ambientais e dois aspectos socioeconômicos.

O método adotado para o dimensionamento foi o da curva-envelope, utilizando um período de retorno de 10 anos. Através de sensores de medição de nível e de medidas das precipitações foram monitorados 32 eventos de chuvas reais. Nesse período não ocorreu nenhum extravasamento do plano de infiltração representando, nesses eventos, uma eficiência de 100% na redução do volume escoado. Para a modelagem do ESD no plano de infiltração foi utilizado o método de PULS, no entanto, o modelo foi considerado difícil de ser aplicado devido à enorme quantidade de incertezas em relação as áreas de infiltração, talvez pela alta capacidade de infiltração inicial do solo e ao fato da água escoar em áreas preferenciais no plano de infiltração. Pesquisas futuras em fase de planejamento serão realizadas para avaliar as condições de dinâmica da água no solo do plano de infiltração e uma possível modelagem hidrodinâmica refinada dos processos hidrológicos no local.

3.3.1 O projeto construtivo dos planos de infiltração no Campus da UFSCar

O dispositivo foi dimensionado para receber as águas procedentes do telhado de chapa galvanizada do prédio do departamento de Fisioterapia, com uma área de 1.747,54 m² e uma área de expansão entre o prédio e o dispositivo, com 1.253,76m², somando uma área de 3.001,30 m². Usou-se para o dimensionamento da técnica compensatória o método das chuvas (Baptista et al. 2011) com um período de retorno de 10 anos. Para calcular as intensidades das precipitações que por sua vez foi empregada a equação de chuva da cidade de São Carlos construída por Barbassa (1991). Além disso, foi realizado um ensaio de permeabilidade por duplo anel em que se adotou uma condutividade

hidráulica para meio saturado igual $3,75 \times 10^{-5}$ m/s. Na implantação do plano de infiltração utilizou-se trenas e estacas para demarcar os pontos e o formato do plano de infiltração e sua locação; fez-se terraplanagem para remover com uma retroescavadeira 0,30 m de solo para obtenção das cotas desejadas em projeto; em seguida o solo foi subsolado até 0,50 m de profundidade para tentar se recuperar a permeabilidade do solo; verificou-se o atendimento das cotas e dimensões de projeto, após a subsolação foi feita medição com aparelho de nível para verificar se as cotas e dimensões de projeto continuavam corretas; e, finalmente, realizou-se a cobertura vegetal com grama e instalação de saída de fundo. Com o sistema alocado foram então realizados novos ensaios de campo de permeabilidade que corresponderam com a de projeto, realizou-se a instrumentação para o monitoramento que contemplou um canal com distribuidor e amortecimento das linhas de corrente, instalação do vertedor de 120° e dos sensores de nível (Tecedor, 2016).

Foram realizados também três ensaios de simulação de chuva no local e também o monitoramento de 32 eventos de chuva em que apenas sete deles foram capazes de formar carga hidráulica no plano de infiltração. Percebeu-se que alguns parâmetros da concepção de projeto estavam dificultando a modelagem tanto no retardamento entre a formação da lâmina pelo enchimento do canal infiltrante distribuidor, quanto pela alta taxa da capacidade de infiltração inicial do solo que é dependente da umidade do solo.

No entanto, a pesquisa demonstrou que os custos para a construção do plano de infiltração foram de R\$8.500,29, resultando em R\$76,34/m³. Entretanto desse valor total, R\$3.596,85 foi para o plantio de grama. Baptista *et. al.* (2011) avaliaram os poços de infiltração a um custo médio de implantação de R\$256,26/m³. Com relação as trincheiras, o custo médio de implantação é de R\$150,22/m³. Sobrinha (2012) avaliou o custo total de implantação de um poço de infiltração na cidade de São Carlos com um custo de R\$4.157,93 podendo-se inferir que a implantação dos planos de infiltração são bem menos onerosos que as técnicas de poços de infiltração e trincheiras de infiltração também implantadas no Campus (Tecedor, 2016).

3.4 CANAIS GRAMADOS

Neste trabalho, buscou-se avaliar e modelar matematicamente, por meio de modelo fenomenológico, a remoção de material particulado em canal gramado construído em escala real. Para tal, foram investigadas diferentes concentrações iniciais (C_0) de material particulado: 65; 131; 196; 262 e 327 mg/L, os quais foram descarregados por meio de chuvas simuladas em canal de 100 m de extensão e declividade de 2%. As medidas de material particulado foram feitas por meio da turbidez e da análise de sólidos suspensos totais (SST), em 26 posições ao longo do comprimento do canal. Os

dados experimentais foram ajustados ao modelo por meio de regressão não linear dos parâmetros (k) e (C^*), os quais correspondem à constante cinética de decaimento e ao valor mínimo assintótico a curva de remoção, respectivamente.

As frações removidas e o ajuste matemático foram avaliados e realizados para cada evento isolado e, também, para o conjunto de resultados. Em termos médios, o módulo do erro relativo variou entre 0,83% e 5,11%, sendo o maior valor médio obtido para a menor concentração de material particulado investigado (65 mg.L^{-1}). Em relação aos valores obtidos para as constantes de decaimento (kd), as quais representam a frequência de remoção de material particulado, verifica-se que a mesma tende a um valor mínimo para as maiores concentrações iniciais de material particulado (Co). Tal fato indica que, quanto maior a concentração inicial de material particulado (Co), maior a extensão de percurso requerida para sua remoção, com limite máximo observado em torno de 80 m, para concentrações acima de 196 mg.L^{-1} .

O estudo desenvolvido por Shinzato (2015) analisou o comportamento de remoção de sedimento para um canal gramado construído em escala real, 100 m de extensão, declividade de 2% e largura de base de 0,7 m, localizado na Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP. Para tal análise, foram simulados escoamentos superficiais para três volumes de descarregamentos: 5; 7; 10 m^3 , representados cada um com seu respectivo hidrograma e altura de lâmina pela passagem da onda de cheia. Esses escoamentos foram misturados com o material particulado produzido a partir do solo local da região do campus, peneirado para dimensões menores que $75 \mu\text{m}$, o qual foi utilizado para variação da concentração inicial para os ensaios realizados.

Os dados experimentais foram ajustados a um modelo de decaimento de primeira ordem, em escoamento ideal pistonado por meio de regressão não linear, usando os parâmetros cinéticos de decaimento (kd) e de concentração de equilíbrio (C^*). As frações removidas e o ajuste matemático foram avaliados e realizados para cada evento isolado, ao longo do comprimento do canal gramado e monitorados em 26 posições. O pico dos hidrogramas investigados foi da ordem de $11 \pm 2 \text{ L/s}$, e o tempo de base (tB) determinado no ponto de descarregamento no canal variou de 15, 25 e 35 minutos. O tempo de trânsito no canal (tT) foi da ordem de $10,5 \pm 2,5$ minutos, correspondente à velocidade de $0,14 \pm 0,02 \text{ m/s}$. A eficiência máxima de remoção de material particulado ao longo do comprimento do canal gramado variou de 47 a 81% em posições de 20 a 90 m.

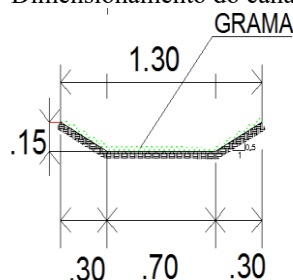
Considerando todas as concentrações investigadas, verificou-se que para tB de 15 minutos, a média das máximas eficiências foram da ordem de $64 \pm 3\%$ para posição de $31 \pm 26 \text{ m}$. Para tB de 25 minutos a média das máximas foram da ordem de $73 \pm 3\%$ para posições de $59 \pm 24 \text{ m}$. Finalmente, para tB de 35 minutos a média das máximas eficiências obtidas foram da ordem de $65 \pm 3\%$ nas posições de

73±15 m. O quociente tB/tT apresentaram correlação de 0,98 com a posição de máxima eficiência. As posições de máxima remoção estão relacionadas à constante de decaimento (kd). Verificou-se que 70% dos valores da constante de decaimento (kd) estão entre 0,005 e 0,015 s^{-1} , sendo que ao desconsiderar o hidrograma representado por tB de 15 minutos, 90% dos dados estão contidos no intervalo $0,005 \leq kd \leq 0,015 s^{-1}$ e 85% no intervalo $0,007 \leq kd \leq 0,012 s^{-1}$. Foi identificada relação direta e proporcional da concentração de equilíbrio (C^*) e concentrações iniciais (Co).

3.4.1 O projeto construtivo do canal gramado no Campus da UFSCar

O dispositivo estudado tem 100 m de extensão e 2% de declividade. A água pluvial proveniente do telhado do prédio do departamento de Medicina II é drenada pelas instalações pluviais e depois conduzida para o canal gramado. Já, a água precipitada, no prédio do departamento de Gerontologia, é conduzida por um canal gramado, secundário, desembocando no canal gramado principal, objeto do estudo. Os valores utilizados para o dimensionamento são apresentados na Tabela 1 e o corte transversal do canal está apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Dimensionamento do canal em grama



FONTE: G-HIDRO (2013)

Método Racional		Fórmula de Manning	
Coeficiente de escoamento superficial (C)	0,80	Coeficiente de rugosidade	0,033
Intensidade de chuva (I)	46 mm/h	Inclinação	2%
Área de contribuição (A)	1.501,48m ²		
Vazão calculada= 0,68 m³/s			

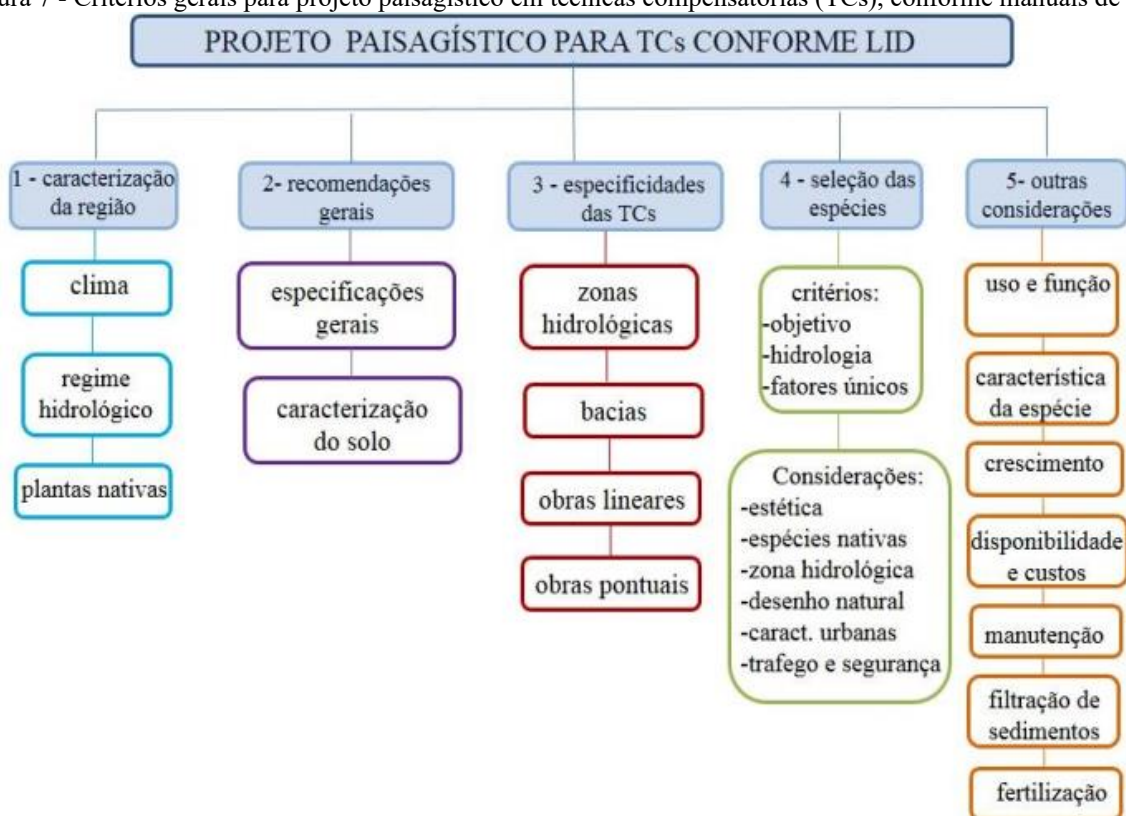
3.5 PROJETO PAISAGÍSTICOS DOS PLANO DE INFILTRAÇÃO I E II

Neste trabalho o objetivo foi desenvolver e aplicar diretrizes para elaboração e execução de projeto paisagístico em técnicas compensatórias visando sua integração à paisagem urbana. As diretrizes basearam-se no Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (LID), no método tradicional de elaboração de projeto de paisagismo e em recomendações internacionais relacionadas às técnicas e foram sintetizadas em sete etapas sequenciais de projeto.

As diretrizes apresentadas no trabalho foram executadas com coerência e garantia de funcionalidade das técnicas compensatórias, permitirão aos profissionais envolvidos com as questões de manejo sustentável de águas pluviais (arquitetos, paisagistas, hidrólogos, engenheiros agrônomos, entre outros) orientações que visam a aplicação em cada região a fim de desenvolver projetos paisagísticos que respeitem as características dessas técnicas de drenagem e de cada localidade. Na microbacia de estudo, o uso previsto para as áreas em que os planos de infiltração foram implantados eram áreas verdes e livres, porém não qualificadas do ponto de vista estético e funcional. Eram simples áreas gramadas, *non aedificandi*, garantidoras de insolação e ventilação aos edifícios.

A elaboração de projetos paisagísticos de forma geral são encontrados em Abud (2010), Hardt (2010), e em manuais de LID, como Prince George County (1999), New Jersey (2004), dado que as técnicas compensatórias requerem maiores cuidados, que correspondem a restrições relativas à sua funcionalidade, configurando uma metodologia diferenciada dada pelos manuais de LID (Figura 7) em relação a elaboração do projeto paisagístico tradicional. Para a aplicação das diretrizes Pereira (2016), seguiu A autora seguiu os critérios gerais para projeto paisagístico em técnicas compensatórias conforme manuais de LID de acordo com New Jersey (2004) e Batista *et al.* (2005).

Figura 7 - Critérios gerais para projeto paisagístico em técnicas compensatórias (TCs), conforme manuais de LID



Fonte: Pereira (2016)

3.5.1 Integração paisagística, custos e aplicações das diretrizes

A integração paisagística permitiu um desenho mais livre para as técnicas compensatórias, indo além do traçado ortogonal e clássico predominante nos projetos hidrológicos e trouxe organicidade às formas. O espaço do dispositivo de drenagem e a área verde não se restringem à funcionalidade hidrológica de armazenamento e infiltração do ESD, mas também à valorização estética da técnicas compensatórias (com a composição de formas e cores), além de permanecer como uma área verde e livre. Desta forma, essas áreas tornaram-se multifuncionais, atendendo ao controle hidrológico, ao paisagismo e ao acesso e interação dos usuários com a instalação de placas informativas da estrutura que caracterizavam as técnicas e utilizadas e seus objetivos.

O Plano de Infiltração I, tem uma área total de aproximadamente 500m² e recebe as águas de escoamento superficial direto proveniente da cobertura do prédio que abriga o Departamento de Fisioterapia do campus, com área de 1.747,54 m², somados a uma área de expansão de 1.253,76 m², entre o prédio e o plano de infiltração, totalizando 3.001,3 m². O Plano de Infiltração II, tem uma área total de aproximadamente 655 m² e recebe as águas de escoamento superficial direto provenientes da cobertura do Departamento de Medicina II com área de 1.426,7 m², somados a área do estacionamento adjacente com 5.732,5 m² e parte da cobertura do Departamento de Gerontologia com 188 m². O dimensionamento hidráulico do Plano de Infiltração II atende a um período de retorno de 10 anos e tempo de esvaziamento menor que 24 horas, igualmente ao Plano de Infiltração I. O paisagismo e aplicação das diretrizes ocorreram nos Planos de Infiltração I e II e os custos de envolvidos na aplicação paisagística ficaram em torno de R\$ 16,77 e R\$ 18,73 para os Planos de Infiltração I e II, respectivamente.

No paisagismo dos planos de infiltração optou-se por uma forma mais orgânica, contudo que facilitasse o dimensionamento e implantação das espécies e os resultados da aplicação das diretrizes nos dois planos de infiltração demonstraram que as diretrizes proporcionaram um desenho mais livre para as técnicas compensatórias, criaram uma identidade para o reconhecimento da comunidade e a multifuncionalidade de forma a integrar áreas livres e verdes à função hidrológica (PEREIRA, 2016).

A elaboração e implantação dos projetos paisagísticos em escala real no campus foram realizadas a partir das diretrizes definidas no trabalho, sendo que as experimentações confirmaram a necessidade de realização das etapas definidas para a elaboração de projeto. Já a integração paisagística permitiu um desenho mais livre para as técnicas compensatórias, indo além do traçado ortogonal e clássico predominante nos projetos hidrológicos e trouxe organicidade às formas. O espaço do dispositivo de drenagem e a área verde não se restringem à funcionalidade hidrológica de armazenamento e infiltração do ESD, mas também à valorização estética da TC (com a composição

de formas e cores), além de permanecer como uma área verde e livre, tornando-se em áreas multifuncionais, atendendo ao controle hidrológico, ao paisagismo e ao acesso e interação dos usuários (Pereira, 2016).

A manutenção posterior à execução do paisagístico nos planos de infiltração apresentou a necessidade de periodicidade mensal para acompanhamento, como irrigação frequente, controle de formigas e remoção de plantas daninhas. Contudo estas ações correspondem a técnicas comuns de jardinagem, sem grandes investimento seja em recursos humanos ou financeiros, atestando a viabilidade da manutenção (PEREIRA, 2016).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Deve-se levar em conta que o projeto do G-Hidro é pioneiro e teve muitas dificuldades em sua trajetória, contudo, é visível que as pesquisas até aqui realizadas são de extrema importância científica, ambiental, social e econômica, visto que todo o fundamento teórico com o maior rigor científico possível foi utilizado na construção, métodos, validações dos resultados das pesquisas e, sobretudo, no arranjo estratégico das estruturas de drenagem. Vale ressaltar também que houve no início algumas dificuldades técnicas em relação a prefeitura do Campus para a implantação desses sistemas, já que são estruturas inovadoras e ainda pouco estudadas. Na Tabela 1 demonstram-se, os cálculos de área de influência dos sistemas em relação a área total da bacia hidrográfica e corrobora com a afirmação que cerca de 20% do volume não faz mais parte do deflúvio que chega a rede de drenagem pluvial convencional.

Tabela 1 – relação de áreas de influência dos sistemas de drenagem em relação a área total da bacia hidrográfica

Sistema de drenagem compensatória	Área (m ²)		% da área total da bacia hidrográfica
Área de influência do FVT	3.694		3,2%
Área de influência do Plano de infiltração I	6.852		5,9%
Área de influência dos poços de infiltração	536		0,5%
Área de influência do canal gramado	10.358		8,9%
Área de influência do Plano de infiltração II	1.494		1,3%
Área de influência dos poços de infiltração II	468		0,4%
Área total da bacia hidrográfica	116.325	Total (%)	20,1%

Todavia, ao analisarmos de modo geral, a bacia hidrográfica teve como consequência desses projetos uma redução considerável do escoamento superficial direto gerado na área. Em termos de volume infere-se que cerca de 20% do volume de águas pluviais geradas na bacia agora não são mais direcionados a rede pública de drenagem. Isso se deve ao fato que todos os sistemas de drenagem

compensatória têm como exutório o solo, contribuindo na recarga do aquífero e aliviando em termos de volume e vazão a rede pluvial.

Há que se ter em mente que nem todos os deflúvios de águas pluviais gerados em toda bacia hidrográfica estudada, em especial aqueles gerados nos telhados dos edifícios, têm como medida de controle uma estrutura de drenagem compensatória. Dessa maneira, podemos inferir que os volumes reduzidos por essas estruturas, caso fossem aplicadas a todas as edificações na bacia, seriam ainda menores que os aqui calculados. Cabe também destacar que além dessas vantagens de controle de inundações existe outra de extrema importância que é o custo das manilhas e de sua implantação, que de certa maneira, diminuiriam seus diâmetros nominais e onerariam menos as obras de drenagem convencional. Portanto, há que se falar em custos, visto que, na implantação dessas estruturas não foi identificado um custo substancialmente oneroso em relação a drenagem convencional. Conclui-se então, que além de resultados positivos em relação ao controle de drenagem em bacias hidrográficas pela implantação desses sistemas os custos e os benefícios estéticos são também apropriados e podem, sem nenhuma dúvida, serem implantados em toda a cidade (ao menos em novas áreas de expansão) e também regionalmente.

REFERÊNCIAS

ASSIS, A., C., L.; MIRANDA, A., A., C., L.; MATTOS, F., B., O.; CASAGRANDE, C., G.; OLIVI, L., R.; JUNIOR, M., L., L.; CASTRO, S., R.; STEFANO, E. Desafios do Saneamento Urbano: A Biofilia como Solução Sustentável e Aliada do Bem-Estar Urbano. Revista ARACÊ (ONLINE). São Paulo: Associação Nacional de Direitos Humanos, 2014. ISSN 2447-8598. v6,n.4, p.11588-11602,2024. <https://doi.org/10.56238/arev6n4-040>.

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

BARBASSA, A. P. Simulação do Efeito da Urbanização sobre a Drenagem Pluvial da Cidade de São Carlos, SP. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo, USP, EESC, São Carlos, 1991.

CANHOLI, A.P. (2005). Drenagem urbana e controle de enchentes. São Paulo: Oficina de textos. 301p. CARVALHO, J.; LELIS.A.C.; Cartilha de Infiltração. Universidade Nacional de Brasília, Brasília- DF. 2010.

FELIPE, M. C; Avaliação da Eficiência e Modelagem Matemática da Remoção de Material Particulado em Canal Gramado Integrante de Técnica Compensatória Construída em Escala Real. 2014. 103f. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana- Universidade Federal de São Carlos. São Carlos-SP, 2014.

FERREIRA, T. S. Avaliação do Comportamento Hidrológico de Poços de Infiltração de Águas Pluviais Sob Diferentes Concepções. 2016. 158f. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana- Universidade Federal de São Carlos. São Carlos-SP, 2016.

FERREIRA, T. S; BAPTISTA, L.F.S.; BARBASSA, A.P; GONÇALVES,L.M.; SHINZATO, A.H; VICENTE,T.Z.; SILVA, T.R.D; FAVA,M.C. Escolha, projeto e integração urbanística de técnica compensatória em drenagem urbana In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 17 a 22 de novembro de 2013. Bento Gonçalves.

GRACIOSA, M. C. P.; MENDIONDO, E. M.; CHAUDHRY, F. H. Simulação hidráulica para trincheiras de infiltração de águas pluviais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, v. 13 n.2, pp. 89-99. 2008b.

GRAF, C. Dry wells for stormwater management: An involving viewpoint. Arizona Water Resource, 2015. v.23 n.2.

GUTIERREZ, L. A. R. Avaliação da qualidade da água da chuva de um sistema Filtro-Vala- Trincheira de infiltração no tratamento do escoamento superficial direto predial em escala real em São Carlos – SP. 198 p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos, SP. 2011.

HOLZ, J.; TASSI, R. Usando estruturas de drenagem não convencionais em grandes áreas: o caso do loteamento Monte Bello. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XVII., 2007, São Paulo. Anais eletrônicos... São Paulo: RHAMA, 2007.

KOBAYASH, F. Y.; FAGGION, F. H. M.; BOSCO, L. M. del.; CHIRINEA, M. L. B. Drenagem Urbana Sustentável. In: PHD 2537 – Água em Ambientes Urbanos. Escola Politécnica de São Paulo, 2008.
LEFEBVRE, H. (1972). Le droit à ville; Paris, Anthropos.

LUCA, S. J.; VÁSQUEZ, S. G. Qualidade do ar e das chuvas. In: TUCCI, Carlos E. M.; MARQUES, David M. L. da Motta (Org.). Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre: Ed. Universidade. 2000. Capítulo 4.2, p. 219-226.

LUCAS, A. H. Monitoramento e Modelagem de um sistema Filtro – Vala – Trincheira de infiltração em escala real. São Carlos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, 2011.

MAY, S. Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. São Paulo, 2004. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

MORUZZI, R.B ; FELIPE, M.; BARBASSA, A. Avaliação e modelagem matemática da remoção de material particulado em canal gramado construído em escala real. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. vol. 21 no.1 Porto Alegre jan./mar. 2016 p. 263 – 273

MOURA, T. A. M. Estudo experimental de superfícies permeáveis para o controle de escoamento superficial em ambientes urbanos. Brasília. Dissertação (Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, 2005.

PEREIRA, T., R., D., S. Projeto Paisagístico Como Integrador de Técnicas Compensatórias à Paisagem Urbana: Estudo de Caso Aplicado em Planos de Infiltração do Campus da UFSCar. 2019. 128f. Dissertação de mestrado- programa de pós graduação em engenharia urbana - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos-SP, 2014.

PERSSON, J.; SOMES, N.; WONG, T. Hydraulics efficiency of constructed wetlands and ponds, Wat. Sci. Tech. vol 40, n.3, pp. 291-300, 1999.

PERUCI, L.; OLIVEIRA, M.; C., A. OMENA; T., H.; SILVA, I., F.; BORGES, T., G., O.; RIBEIRO, B., Z. Coberturas Verdes: Análise do Desempenho Térmico de Um Sistema Extensivo em Comparação a uma Cobertura com Telha Cerâmica na Cidade Palmas-To. Revista ARACÊ (ONLINE). São Paulo: Associação Nacional de Direitos Humanos, 2014. ISSN 2447-8598. v. 6, n.4, p.11255-11274,2024. <https://doi.org/10.56238/arev6n4-022>.

POMPÊO, C.A. Drenagem Urbana Sustentável. RBRH-Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 5, n.1. 15-23, Jan/mar 2000.

REIS, R. P. A; OLIVEIRA, L. H.; SALES, M. M. Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de água pluvial. In: Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 99-117, abr./jun. 2008.

RIGHETTO, A. Manejo de Águas Pluviais Urbanas: Rio de Janeiro: ABES, p. 396, 2009.

SCHUELER, T. R. Controlling urban runoff: A practical manual for planning and designing urban BMPs. Department of Environmental Programs. Washington Metropolitan Water Resources Planning Board. 1987.

SHINZATO, A.H; Avaliação da Remoção de Material Particulado em Canal Raso Gramado. 2015. 73f. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana- Universidade Federal de São Carlos. São Carlos-SP, 2014.

SILVEIRA, A. Drenagem Urbana: Aspecto de Gestão: Instituto de Pesquisas Hidráulicas Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

SÍRIO, D. L. N.; BARBASSA, A. P. ; ZUQUETTE, L. V. . Análise Experimental e Validação de Curvas Bimodais de Retenção De Água no Solo Para Solos Areno-Argilosos Residuais da Formação Itaqueri em São Carlos - Sp. Geociências (são paulo. Online), v. 39, p. 1041-1057, 2020.

SÍRIO, D. L. N; Monitoramento e Modelagem da Recarga Freática em Técnica de Drenagem Compensatória. 2014. 124f. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana- Universidade Federal de São Carlos. São Carlos-SP, 2014.

SOBRINHA, L.A. Monitoramento e Modelagem de um Poço de Infiltração de Águas Pluviais em Escala Real e com Filtro na Tampa. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2012.

SOUZA, V. C. B. ; GOLDENFUM, J. A. . Trincheiras de infiltração como elemento de controle do escoamento superficial: um estudo experimental. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1999, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte : ABRH, 1999.

SOUZA, V. C. B. Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial. (Tese de Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 127p. 2002.

SUDERHSA. 2000. Manual de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba. UFRGS/IPH – PMPA/SM.

TAVANTI, D.R.; BARBASSA, A.P Análise dos Desenvolvimentos Urbanos de Baixo Impacto e Convencional. RBRH-Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 17, n.4. 17-28, out/dez 2012. TECEDOR, N. Monitoramento e modelagem hidrológica de plano de infiltração construído em escala real. 2014. 92f. Dissertação de mestrado- programa de pós graduação em engenharia urbana- Universidade Federal de São Carlos. São Carlos-SP, 2014.

TECEDOR, N.; BARBASSA, A. P.; MORUZZI, R.B.; GONÇALVES, L. M. Monitoramento e modelagem hidrológica de plano de infiltração construído em escala real. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 20 n.3 Porto Alegre jul./set. 2015 p. 594 – 604

TECEDOR, N.; BARBASSA, A.P; GONÇALVES, L.M.; BAPTISTA, L.F.S ; FELIPE,M.C. ; SÍRIO D.L.N. Projeto e construção de um plano de infiltração em escala real. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 17 a 22 de novembro de 2013. Bento Gonçalves.

TOMAZ, P. Custo e eficiência das BMPs In: Curso de manejo de águas pluviais. 2009.

TOMAZ, P. Remoção de Sedimentos em BMPs , 2011

TUCCI, C. E. M. (org.). Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 2001.548p.

TUCCI, C. E. M. Gestão da drenagem urbana. Brasília, DF: CEPAL, IPEA. 2012.50p.

TUCCI, C. Gestão de Águas Pluviais Urbanas: Ministério das Cidades: Global Water Partnership: World Bank: Unesco, 2005.

URBONAS, B. E STAHR, P. Stormwater- Best management practices and detention for water quality, drainage, and CSO management. PTR Prentice Hall, 449 p.