

**Técnicas compensatorias y urbanismo: dispositivos implantados en el
campus de la UFSCar, São Carlos/SP**

Rodrigo Augusto Guerra

Estudiante de maestría, PPGEU-UFSCar, Brasil
rodrigoaguerra@gmail.com

Luciana Márcia Gonçalves

Profesor doctor UFSCar, Brasil
lucianamg@ufscar.br

1. INTRODUCCIÓN

La relación del ser humano, y en consecuencia de la ciudad, con el agua ha pasado por diferentes momentos a lo largo de los años, desde su apreciación, en el inicio de la vida nómada (por la agricultura y la higiene permitidas), hasta su rechazo, en el desarrollo de los primeros sistemas hídricos. evacuación de agua integrada al desarrollo urbano en la Edad Antigua y Media (BAPTISTA; NASCIMENTO y BARRAUD, 2011). La separación por canalización se unió a principios higienistas, que asociaban la presencia de agua con algo patógeno y fétido, lo que, en realidad, estaba relacionado con el bajo mantenimiento de los sistemas de evacuación de aguas pluviales y cloacales, lo que resultó en su en desuso, dejándolos corriendo por las calles (BAPTISTA; NASCIMENTO y BARRAUD, 2011).

En el siglo XIX, con el aumento exponencial de la población urbana, la precaria infraestructura para el control de las aguas urbanas favoreció la propagación de epidemias por toda Europa, cambiando la relación entre urbanismo y aguas de la ciudad, que comenzó a predicar su fluir lo más rápidamente posible (BAPTISTA; NASCIMENTO y BARRAUD, 2011). El aumento de la población urbana continuó durante el siglo XX, y en 2010 Brasil ya alcanzaba el 84,36% de la población residente en ciudades (IBGE, 2010).

A medida que más personas habitan la ciudad, más urbanizada e impermeable se vuelve, debido al patrón de ocupación actual, provocando más inundaciones (Figura 1) y, por tanto, aumentando el número de personas afectadas, un escenario prácticamente visible a nivel mundial, pero con énfasis en países en desarrollo, como Brasil (JHA; BLOCH y LAMOND, 2012).

Figura 1: Balance hídrico antes y después de la urbanización



Fuente: CONDADO DE PRINCE GEORGE, 1999; BAPTISTA, 2015, elaborado por el autor, 2020.

Ante la alta tasa de urbanización y el aumento de la población urbana, se necesitan nuevos tratamientos del espacio de la ciudad. En la legislación brasileña, el Estatuto de la Ciudad, Ley N ° 10.257, de 10 de julio de 2001, regula los artículos 182 y 183 de la Constitución Federal de 1988, y menciona el Plan Maestro de Desarrollo Urbano (PDU) como principal instrumento.

para la ordenación del territorio urbano. La planificación municipal basada en el PDU y la zonificación define el uso y ocupación de los espacios para garantizar el desarrollo de la ciudadanía y el cumplimiento de la función social de la ciudad. La ley señala reglas a ser observadas por los gestores municipales en cuanto al ordenamiento territorial, elaboración y ejecución de políticas urbanas (BARROS; CARVALHO y MONTANDON, 2010). En 2003, con la creación del Ministerio de las Ciudades - ahora extinto -, hubo mayor apoyo a las ciudades en cuanto a la consolidación de modelos que incluían el saneamiento, la vivienda y la movilidad urbana, con mención a la ciudad sostenible, apoyando la implementación del Estatuto ley, con el fin de facilitar el enfrentamiento de los problemas sociales, ambientales y económicos que afectan la vida muchos brasileños (FERNANDES, 2010).

Las consecuencias del drenaje urbano descontrolado afectan principalmente a las áreas ubicadas aguas abajo (sentido de flujo del curso de agua), ya que es aquí donde un gran volumen de agua llega rápidamente a través de tuberías, no se infiltra ni se evapora en las cantidades (áreas superiores al río) - y contaminación, provocando impactos que afectan tanto al medio ambiente como a las poblaciones locales y al gobierno (TUCCI, 2002) (OLIVEIRA, 2018).

Entre las consecuencias de la alteración del ciclo hidrológico generada por el modelo de ocupación predominante en Brasil, podemos mencionar la cadena de eventos en los que (OLIVEIRA, 2018):

- La tasa de infiltración de agua en el suelo se reduce mediante la impermeabilización, con el fin de disminuir el suministro de acuíferos y aumentar la cantidad y velocidad de su escorrentía superficial;
- La no retención de agua por parte de la vegetación reduce la evapotranspiración natural, un proceso esencial para el equilibrio hídrico, ayudado por el follaje y los suelos;
- Todo el volumen de agua drenada barre con fuerza la contaminación superficial y favorece la sedimentación del suelo.

A pesar de las principales noticias sobre problemas de drenaje urbano provenientes de las grandes aglomeraciones urbanas, el tema también afecta a las ciudades pequeñas y medianas. Con el tiempo, el sistema tradicional de drenaje de aguas pluviales ha demostrado ser ineficaz para combatir inundaciones e inundaciones, incidiendo en la calidad de vida de los habitantes e incluso en los cursos de agua que reciben agua con contaminantes que lava la zona urbana (VENTURE ; VAZ FILHO y GONÇALVES, 2019). A partir de esta situación, se estudian y utilizan nuevos enfoques a técnicas y enfoques alternativos al clásico sistema de drenaje pluvial urbano, como:

- Técnicas compensatorias (CT) o Mejores prácticas de gestión (BMP);
- Desarrollo de bajo impacto (LID);
- Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD).

Dichos enfoques tienen en común la importancia de mantener áreas permeables dentro del suelo urbano, con el objetivo de acercar el sistema al proceso natural, en el que se

respetar y fomenta el ciclo hidrológico. Se señalan diseños urbanos, elementos vegetales y estructuras para ayudar a la infiltración de agua en el suelo y garantizar una escorrentía a baja velocidad (UNIVERSITY OF ARKANSAS COMMUNITY DESIGN CENTER, 2010).

Sin embargo, para implementar estos enfoques que favorezcan el curso de las lluvias superficiales, se requieren espacios urbanos disponibles (lotes, parcelas, áreas verdes, etc.), ya que no se utilizaría el actual sistema de tuberías enterradas. El acceso al suelo urbano actualmente está directamente relacionado con su precio (MARICATO, 2010), por lo que la espacialización de proyectos y planes es un tema obligatorio en las PDU, principalmente a través de la zonificación. Por lo tanto, la gestión del agua de lluvia urbana debe integrarse con la planificación del uso del suelo.

Los enfoques alternativos desarrollados y probados deben discutirse en los PDUs, de modo que su aplicabilidad llegue a la ciudad real. Los agentes responsables de la producción del espacio urbano, incluidos los administradores de la ciudad y los residentes, deben comprender la necesidad de integrar el agua de lluvia en los planes urbanos a partir de los principios rectores del desarrollo urbano.

Ante la dificultad de implementar enfoques alternativos al drenaje pluvial urbano y la gestión integral en las obras de urbanización, existe la necesidad de un abordaje más efectivo entre los PDUs y otros planes urbanísticos, es decir, además de apuntar a las mismas premisas para la reducción de impactos, deben abordar pautas de diseño que ni siquiera se han presentado planes específicos de drenaje urbano. El objetivo de la investigación del máster de la que se deriva este artículo se centra en el desarrollo de estrategias para incluir enfoques alternativos al drenaje urbano en los PDUs.

Las aguas pluviales urbanas son precipitaciones que se producen dentro del perímetro urbano o que, de alguna otra forma, cruzan su límite y pasan a formar parte del área urbanizada. Su gestión debe ser cuidadosa y siempre tenida en cuenta, ya que la lluvia forma parte del ciclo hidrológico natural y, a pesar del rechazo de su presencia en el entorno de la ciudad, alentada por higienistas, pasará por allí.

Los enfoques no tradicionales para el drenaje pluvial surgieron de la búsqueda para mantener la escorrentía, la infiltración y la evapotranspiración del agua en entornos urbanos.

Algunas de las consecuencias relacionadas con el agua de lluvia posurbanización en una cuenca hidrográfica en la línea de la ciudad actual, donde existen grandes áreas de vegetación e impermeabilización, según Baptista; Nascimento y Barraud (2011) y Prince George's County (1999), son:

1ra etapa - en el sitio:

- La impermeabilización del suelo disminuye la cantidad de agua que se infiltra en el suelo, lo que humedecería el suelo y proporcionaría posibles capas subterráneas;
- La remoción de vegetación disminuye la cantidad de agua que experimenta la evapotranspiración, un mecanismo natural de la planta que aumentaría la humedad del aire;
- Una pequeña porción del agua todavía se evapora naturalmente.

2da Etapa - en camino:

- Un gran volumen de agua que permanecería en el lugar tiene la única opción gravitacional para drenar de acuerdo con la pendiente local;
- La rugosidad mínima permite que el agua alcance velocidades más altas;
- Caudal de agua doblemente aumentado (volumen de escorrentía y velocidad de escorrentía);
- Arrastrar sedimentos a gran velocidad, provocando erosión;

3a Etapa - en el destino:

- Los sedimentos previamente arrastrados se depositan en el fondo de los cursos de agua, provocando la sedimentación;
- Las partículas previamente arrastradas se llevan a lugares donde no pertenecían, lo que puede provocar cambios en la calidad del agua y desequilibrio ambiental.

Teniendo en cuenta este proceso, los accesos tienen como objetivo romper el circuito en el inicio y en el recorrido del agua de lluvia, permitiendo mejores condiciones también en las zonas aguas abajo.

1.1 Técnicas compensatorias (TCs) o *Best Management Practices* (BMP)

Desarrollados en Norteamérica bajo el nombre de *Best Management Practices*, en la década de los 70, son elementos que compensan la gran cantidad de agua de lluvia drenada por la impermeabilización del suelo urbano mediante detención e infiltración. El control del volumen y la velocidad de la escorrentía tiende a disminuir la probabilidad de inundaciones y permite una mejor calidad del agua de escorrentía. Al tratarse de varias técnicas, es factible combinar varias en un mismo emprendimiento, además de integrarlas en distintos entornos urbanos o naturales (TUCCI, 1995; BAPTISTA; NASCIMENTO y BARRAUD, 2011).

Su aplicabilidad también aporta multifuncionalidad, a través de usos en períodos que no se llenan de agua, pudiendo servir como estacionamiento, áreas deportivas, sistemas viales, aceras y parques lineales, integrándolo con el espacio de la ciudad (OLIVEIRA, 2018; BAPTISTA; GONÇALVES y RIBEIRO, 2016).

Según Baptista; Nascimento y Barraud (2011), las TCs tienen dos divisiones principales: no estructurales y estructurales. Los primeros incluyen el retraso en el flujo de capas superficiales de mayor rugosidad e incentivos legislativos y educativos en cuanto a la reducción del flujo de agua de lluvia al sistema de drenaje. Los estructurales, en cambio, tienen dos métodos de clasificación: según el principio básico de funcionamiento de la TC (infiltración, retención o ambos) o según la posición de implantación del dispositivo (puntual, lineal o en cuencas).

En la aplicación de cada TC, es necesario tener en cuenta algunos aspectos de infraestructura física, hidrológica, urbana y local, tales como:

- Topografía;
- Ruta y destino del agua de lluvia;
- Análisis de suelos (capacidad de infiltración de agua, estabilidad y nivel freático);
- Presencia permanente o temporal de agua en el sistema;
- Espacio disponible para implementación;
- Diseño de pendiente y techo (cuando se aplica al techo o si está desconectado del sistema tradicional);
- Análisis y localización de redes públicas subterráneas ya existentes.

Por tanto, existen ciertas restricciones y características de gran importancia que deben ser consideradas para cada TC, con el objetivo de su mejor funcionamiento.

Al tratarse de estructuras cuyo foco principal es el manejo del agua de lluvia, es necesario que siempre haya aliviaderos, porque el dimensionamiento define un diseño de lluvia que ahora o el otro será extrapolado; y existe la posibilidad de que se atasquen por hojas o incluso por residuos sólidos que podrían causar impactos imprevistos. Otros puntos importantes son: la calidad del agua, dependiendo de la permeabilidad del suelo y de los contaminantes presentes en el agua drenada, puede contaminar las aguas subterráneas; al no tratarse el agua, no debe permanecer estancada por más de 24 horas, ya que puede favorecer el desarrollo de organismos vectores de enfermedades; otras infraestructuras existentes pueden impedir la construcción de la TC; y, finalmente, se debe conocer la distancia desde el nivel freático hasta el fondo del TC y la permeabilidad saturada del suelo (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999; BAUTISTA; NASCIMENTO y BARRAUD, 2011; DERECHO, 2009). Por lo tanto, los conjuntos de TCs deben ser estudiados en cuanto a su funcionamiento básico, a fin de facilitar la dirección al desarrollar las directrices.

2 OBJETIVO

En este artículo se demuestra, a través de la descripción de TCs construidas y sometidas a situaciones a escala real, las posibilidades de integración y compensación de los dispositivos y su comportamiento en entornos reales. Se analizarán las características y demandas de las TCs construidas en el campus de la Universidad Federal de São Carlos (UFSCar), en São Carlos / SP, siempre haciendo referencia a la Figura 2 para las notas de cada TC abordada.

Paiva (2016) abordó la difusión y sensibilización de los transeúntes sobre las TCs construidas, a través de materiales gráficos implantados junto a cada sistema.

Este artículo tiene como objetivo relevar y organizar criterios para la evaluación de experiencias inéditas de investigación en TCs, basadas en estructuras implantadas a escala real en el campus de la UFSCar, resultado de investigaciones integradas del Grupo de Estudio sobre Sistemas Urbanos de Agua (G-HIDRO), de la UFSCar de São Carlos/SP, con asistencia financiera para el proyecto de Gestión Urbana de Aguas Lluvias de FINEP/BRUM, y de la Prefectura del campus de la UFSCar de São Carlos. Sus resultados se describen y discuten, principalmente en el contexto urbano, con el fin de colaborar con la investigación del máster de la que forma parte.

Si bien no se han implementado todos los tipos de TCs, en sus obras específicas se estudiaron las necesidades de integración urbana y la atención a la funcionalidad hidrológica, las condiciones sanitarias y ambientales de las experiencias.

Figura 2: TCs construidas en el campus UFSCar, cuenca experimental en el Área Norte, en São Carlos / SP



Fuente: Elaborado por el autor, 2020.

3 MÉTODOS

En este artículo, analizamos los dispositivos compensadores de drenaje urbano construidos a escala real en el campus de la UFSCar en São Carlos/SP, que fueron operados y mantenidos por G-HIDRO, algunos por más de 10 años. Siguió la siguiente secuencia de desarrollo:

- Revisión bibliográfica de la historia de la planificación urbana relacionada con la

gestión del agua de lluvia urbana, así como sus consecuencias directas e indirectas; seguida de una revisión bibliográfica de técnicas compensatorias en drenaje pluvial urbano y enfoques alternativos relacionados con el drenaje sostenible, que permitan analizar conceptos, condiciones y necesidades de cada TC (disponibilidad de espacio, tipo de suelo y capacidad de almacenamiento como principales características);

- A través de una visita técnica a los edificios, acompañados de profesores e investigadores de G-HIDRO que participaron en la instalación de parte de los dispositivos, se recuperaron los objetivos y puntos muertos de la historia de las instalaciones. La consulta objetiva con los docentes e investigadores que participan en el desarrollo e implementación de las TCs, permitió obtener notas, descripciones e información más detalladas sobre la realización, así como las dificultades enfrentadas;
- Realización de una búsqueda bibliográfica de artículos, tesis y disertaciones del Programa de Posgrado en Ingeniería Urbana de la UFSCar en São Carlos/SP, en la que se presentaron los cálculos del proyecto, los criterios para la elección de la ubicación de las TC implantadas, las caracterizaciones de los dispositivos y estudios de los resultados obtenidos en los análisis realizados tras la implantación;
- Otra fase importante del relevamiento fue la visita a las TCs en épocas de lluvia, para observar el recorrido del agua y el comportamiento paisajístico en los dispositivos;
- Mapeo y selección de imágenes de la colección fotográfica de G-HIDRO con descripción de los dispositivos implantados en la cuenca experimental del Área Norte del campus;
- Se llevó a cabo el análisis de los aspectos urbanos, ambientales, sanitarios e hidrológicos de las TCs, con mayor énfasis en los primeros, como la integración, el espacio utilizado y la multifuncionalidad;
- Finalmente, se desarrolló una tabla con información comparativa entre las TCs implantadas, en el ámbito urbano y espacial.

4 RESULTADOS

4.1 Técnicas compensatorias UFSCar

4.1.1 Trincheras de infiltración y detención

Los miembros del grupo de TCs lineales, presentan mayor dimensión en la dirección longitudinal, en comparación con sus anchos y profundidades (como máximo un metro cada uno). Su función principal es reducir la escorrentía de agua de lluvia a través del almacenamiento, pero también es capaz de eliminar diversas bacterias y contaminantes, reduciendo el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas (BAPTISTA; NASCIMENTO y

BARRAUD, 2011; SOUZA et al., 2018; URBONAS y STAHRE, 1993).

El sistema recibe agua de lluvia perpendicular a su longitud, y puede ser a través de escorrentías o tuberías conectadas directamente a su interior, rellenas con materiales granulares gruesos, como piedra de mano, guijarros y grava, con el fin de permitir el almacenamiento de agua en espacios no llenos. Dado que su excavación es similar a los sistemas de drenaje tradicionales, es fácil de realizar. A diferencia de las trincheras de detención, que deben cubrirse con materiales impermeables, las trincheras de infiltración deben cubrirse con mantas de geotextil, para evitar el paso de materiales finos que puedan bloquear la estructura. La evacuación del agua, al igual que en las cuencas, puede ser a través de tuberías reductoras, en el caso de detención, o infiltrando el suelo, en la infiltración (BAPTISTA; NASCIMENTO y BARRAUD, 2011).

Baptista; Nascimento y Barraud (2011) citan tres principales inconvenientes de su uso:

- El mantenimiento debe ser periódico para controlar la obstrucción, que ocurre primero en la parte inferior y en los lados del sistema. Al igual que en los TC de cuenca, existen preventivos (limpieza de pozos, filtros y dispositivos de descarga y conservación de áreas verdes) y correctivos (reposición o solo limpieza de materiales interiores y superficie del sistema cuando se detecta un funcionamiento inadecuado);
- Existencia de restricciones en cuanto a la implantación en zonas de grandes pendientes - conviene utilizar tabiques internos (geomembranas en conjunto con manta geotextil o solo muros de materiales poco o nulos permeables, con el objetivo de un mejor aprovechamiento del volumen de almacenamiento);
- Los fondos de las zanjas de infiltración deben tener al menos un metro de vertical al nivel del agua subterránea, evitando su fácil contaminación (en áreas de recarga directa del acuífero se recomienda no utilizarlo).

A pesar de estar excavados y rellenos de piedras, se permite, después de cerrar con la manta protectora, cubrirlas con tierra y vegetación, evitando especies que pierdan su follaje o tengan raíces que ofrezcan riesgo de perforar la manta.

G-HIDRO, Lucas (2011) como responsable, realizó la construcción, en el campus de la UFSCar, en São Carlos/SP, de un sistema denominado zanja-filtro de infiltración (FVT) (ítem 5 de la Figura 2), que recibe agua de lluvia de la desconexión del sistema tradicional de drenaje de agua de lluvia en la cubierta del edificio del Departamento de Medicina (BAPTISTA, 2015). Tan pronto como cae sobre el techo, el agua se escurre hacia las canaletas y se dirige, perpendicularmente, a un canal de distribución, lo que hace que el agua descienda uniformemente hasta la zanja.

Dentro de la TC, el agua pasa por tres etapas:

- Filtro: camino cubierto de hierba con pendiente baja, para la retención de sedimentos;
- Zanja - sendero herboso con mayor pendiente, para retención de sedimentos y almacenamiento complementario a la zanja, cuando hay lluvias más intensas;

- Trinchera: espacio excavado lleno de grava 3 en el área de almacenamiento de agua drenada, envuelto en una manta de geotextil, cubierto con arena gruesa y guijarros.

4.1.2 Zanjas, Zanjas y Planes de Detención e Infiltración

Son TCs especializadas como depresiones simples, es decir, excavaciones menos profundas que las cuencas, y pueden proyectarse en áreas (planos) o lineales (zanjas o zanjas -zanja menor). Las instalaciones de detención brindan almacenamiento temporal, mientras que los sistemas de infiltración permiten el almacenamiento y la permeabilidad en el suelo. Sin embargo, ambos tipos hacen factible la evapotranspiración cuando están vegetadas. También existe la posibilidad de funcionar como canales para dirigir el agua de lluvia, con el fin de infiltrar, retener sedimentos, remover la contaminación y ayudar a reducir la velocidad de escorrentía, con el fin de amortiguar los flujos (BAPTISTA; NASCIMENTO y BARRAUD, 2011; BUTLER y DAVIES, 2000).

Al tratarse de depresiones más suaves, son fáciles de construir y permiten la integración en el entorno en el que se insertan, posibilitando intervenciones paisajísticas que aportan valor estético y de confort. Se debe cuidar la visibilidad del sistema, para que los transeúntes comprendan su funcionamiento y no sufran caídas o accidentes. Baptista; Nascimento y Barraud (2011) citan como los principales inconvenientes de sus aplicaciones:

- Restricciones a la aplicación en áreas con pendientes pronunciadas: disminuye la deposición de sedimentos, requiere compartimentación y puede causar erosión;
- Si hay infiltración, deben estar verticalmente al menos a un metro de distancia del nivel freático (como zanjas de infiltración);
- Cuando estén al lado de carreteras, colóquelas en un nivel inferior y con paredes impermeables, para evitar el movimiento horizontal del agua debajo del lecho de la vía;
- Si no se ejecuta correctamente, puede producirse una acumulación de agua, lo que tiene consecuencias para la salud;
- Se deben evitar los árboles que pierden muchas hojas cerca del sistema, ya que pueden causar su obstrucción;
- Mantenimiento periódico: preventivo (jardinería y limpieza periódica) y correctivo (al infiltrar, reemplazar el terreno vegetal en caso de obstrucción del suelo; al detener, reemplazar orificios y tuberías dañados).

G-HIDRO llevó a cabo la construcción, en el campus de UFSCar, en São Carlos / SP, de dos planos de infiltración y una zanja cubierta de hierba. El primer plan de infiltración construido (PI1) tuvo a Tecedor (2014) como responsable (ítem 1 de la Figura 2), y contó con la desconexión del drenaje pluvial de la cubierta del edificio del Departamento de Fisioterapia. La técnica fue elegida por la disponibilidad del área (según el Plan Director del Campus) y los aspectos físicos,

urbanos, sanitarios, ambientales, socioeconómicos y de infraestructura favorables permitieron su implementación. El sistema PI1 tiene la desconexión del agua drenada de la cubierta del edificio del Departamento de Fisioterapia, interceptando tuberías en el suelo y dirigiéndola a un aliviadero de 120º con arenoso y distribuidor de flujo con grava,

El segundo plan de infiltración (PI2), así como los demás TC construidos en el campus por G-HIDRO, tuvieron sus ejecuciones casi simultáneamente, en los años 2012 y 2013 (ítem 2 de la Figura 2). El dispositivo recibe agua drenada de la zona de aparcamiento aguas abajo y contiene, de forma similar al primero, un aliviadero con cajón de arena y un distribuidor de flujo relleno de grava.

En ambos planes de infiltración, hubo un tratamiento paisajístico desarrollado por Pereira (2016), quien consideró a las TCs como espacios que agregan valor estético al entorno en el que se insertan. Se utilizaron especies vegetales que resisten periodos de sequía y acumulación de agua, y que aportan singularidad, identidad y protagonismo al referente urbano del proyecto.

También hubo en el campus la implementación de una zanja de infiltración, que tuvo como responsables a Felipe (2014) y Shinzato (2015) (ítem 3 de la Figura 2). El sistema se denominó canal de pasto, según la nomenclatura del Ayuntamiento de Cambridge (2009), y permitió el estudio de la retención de sedimentos y la contaminación debido a la presencia de pasto en el camino de drenaje de aguas pluviales. La TC recibe agua de lluvia de la desconexión de la cubierta del edificio de Gerontología, y sirve como desagüe del exutorio PI1, aguas arriba, cuando está sobrecargado.

4.1.3 Pavimentos permeables equipados con estructuras de detención e infiltración

El principal punto a cuestionarse respecto a la alteración del ciclo hidrológico es la enorme cantidad de área impermeable generada por el modelo de asentamiento urbano comúnmente desarrollado - gran uso de hormigón y asfalto en las superficies. Considerando el escenario urbano, se menciona que las áreas de estacionamiento para vehículos suman hasta el 30% del área total de una cuenca de drenaje, áreas que terminan por no ser susceptibles de infiltración de agua en el suelo (BAPTISTA; NASCIMENTO y BARRAUD, 2011; PARRA , 2016; PEREIRA, 2016). En este contexto, aparecen las siguientes TCs lineales:

- Pavimentos permeables: permiten el paso del agua al suelo, realizando la infiltración;
- Pisos porosos: retienen el agua temporalmente, almacenándola;
- Pisos porosos y permeables: retiene el agua y la hace infiltrar poco a poco en el suelo.

Son TCs que permiten que el agua de lluvia se infiltre en el suelo, aumentando la recarga de las láminas subterráneas, así como reduciendo el volumen de escorrentía y los caudales de amortiguación, según la tipología elegida para su aplicación en el proyecto.

El asfalto poroso y los bloques de hormigón huecos son algunos ejemplos de

pavimentos permeables. También existen los llamados semipermeables, como los adoquines, los pavimentos poliédricos o los bloques de hormigón entrelazados, que permiten una pequeña tasa de infiltración.

Su uso es bastante versátil, pudiendo ser utilizado en plazas, parques, estacionamientos, calles e incluso avenidas de alto caudal de automóviles, generando comodidad y seguridad, ya que reduce los charcos de agua y la posibilidad de aquaplaning. Existen indicios de que el hormigón permeable es muy utilizado en el desarrollo urbano, apuntando a la accesibilidad para todos, ya que permite el flujo de personas con discapacidad al mantener áreas donde el agua de lluvia se infiltra en el suelo (MOTA, 2014; MUNICIPIO DE MESQUITA, 2018; BAPTISTA; NASCIMENTO y BARRAUD, 2011).

Algunos inconvenientes de usar pisos permeables son, según Baptista; Nascimento; Barraud (2011) y Righetto (2009):

- Riesgo de obstrucción: en la superficie del piso (los poros superiores están bloqueados por la sedimentación) y en el cuerpo del piso (los poros interiores están obstruidos, también por la sedimentación);
- Se debe mantener la distancia vertical mínima de un metro al nivel freático para disminuir la posibilidad de su contaminación (como otras TCs de infiltración);
- Es un revestimiento frágil a grandes fuerzas de cizallamiento, como en áreas de maniobra o curvas;
- El mantenimiento debe realizarse con frecuencia para asegurar el funcionamiento hidráulico del pavimento (incluye voladura o barrido con chorro).

Cabe recordar que cuanto mayores son los poros y mayor es la velocidad de flujo de la calzada donde se aplica el pavimento, más lento es el proceso de obstrucción.

En el campus de la UFSCar, en São Carlos/SP, se instalan dos modelos de pavimentos porosos o permeables. El más común de ellos está presente en varias áreas peatonales y estacionamientos, que es el bloque de concreto entrelazado, cuyo responsable de su implementación es el Ayuntamiento del campus. Sin embargo, su mantenimiento no se ha realizado correctamente, y hay casos en los que se comportan como impermeables (PARRA, 2016).

Otro uso de las TCs existente en el campus es el piso de concreto drenante, implementado por iniciativa del Departamento de Medicina y la Oficina de Desarrollo Físico, ambos en UFSCar. El CT instalado en un lugar de encuentro y descanso (ítem 4 de la Figura 2) fue analizado por Parra (2016), quien encontró, en 2015, la existencia de grietas, desniveles y vegetación en sus poros, condiciones que provocan mal funcionamiento sistema hidráulico. En 2019, las mismas notas se verificaron in situ.

3.1.4 Pozos

Son TCs de infiltración puntual que se utilizan para almacenar el agua de lluvia en un

espacio superficial reducido, ya que tienen una mayor dimensión en su profundidad, proporcionando una mejor integración en el espacio urbano. Permiten implantarse en lugares cuyas capas superiores del suelo no son muy permeables, debido a que la zona de infiltración está en los lados y fondo de los pozos. Sus principales funciones son reducir los caudales máximos y recargar láminas subterráneas (BAPTISTA; NASCIMENTO y BARRAUD, 2011; ANGELINI SOBRINHA, 2012; REIS; OLIVEIRA y SALES, 2008).

Los pozos pueden estar vacíos o llenos de materiales porosos - mínimo 30% de porosidad, como grava, por ejemplo -, que tienen menores capacidades de almacenamiento. También existen diferencias en cuanto a la recepción de agua de lluvia, que puede ingresar por escorrentía o directamente al caudal a través de una red (BAPTISTA; NASCIMENTO y BARRAUD, 2011; FERREIRA, 2016).

Algunos inconvenientes de sus implantaciones, según Baptista; Nascimento y Barraud (2011) y Ferreira (2016), son:

- No es aconsejable evacuar el agua almacenada inyectándola en el agua subterránea (incluso está prohibido en algunos países) - cuando esté disponible, asigne dispositivos de pretratamiento de agua para evitar la contaminación o contaminación directa;
- Deje un medidor vertical entre la parte inferior del sistema y el nivel del nivel freático (como cualquier dispositivo de infiltración), para reducir el riesgo de contaminación o polución;
- Manténgase alejado de los cimientos, raíces y pendientes de los edificios: las redes urbanas subterráneas no se consideran obstáculos;
- Dejar la estructura visible y sensibilizar a los transeúntes, evitando el depósito de relaves debajo del sistema;
- Se recomienda tener una caja de decantación antes del pozo, con la función de retener la materia en suspensión;
- Proporcionar acceso para las inspecciones, con regularidad y después de fuertes lluvias;
- Considere el tiempo máximo de drenaje de 72 horas;
- Necesidad de un mantenimiento regular para evitar obstrucciones: limpieza de los rieles de guía del sistema; reemplazo de filtros; eliminación de sedimentos y desechos.

En el campus de la UFSCar, en São Carlos/SP, hay dos pozos de infiltración implantados por G-HIDRO, con Ferreira (2016) como responsable. Ambos utilizaron la misma cantidad de anillos de hormigón en su construcción. El pozo de infiltración I tiene características similares a las implantadas en el municipio (ítem 8 de la Figura 2), respetando los cálculos dimensionales de la legislación municipal. El dispositivo recibe agua de lluvia drenada de la desconexión del techo norte del Laboratorio de Polímeros.

El segundo pozo de infiltración fue desarrollado por G-HIDRO, con el fin de incrementar la infiltración y la vida útil del sistema (ítem 9 de la Figura 2). El dispositivo recoge el agua de

lluvia drenada a través del techo sur del mismo edificio que el primer pozo. Por tener grava en su cubierta y en los costados, es capaz de almacenar un mayor volumen de agua, además de tener un mayor volumen infiltrado, en comparación con el pozo I.

También hay otros dos pozos construidos en el campus que se han integrado en otra TC, y ambos capturan el agua drenada del techo del Centro de Capacitación Docente; cada uno captura la mitad de la cobertura. El primero de ellos tuvo a Baptista (2015) como responsable e integró el plan de infiltración y pozo (ítem 6 de la Figura 2). Con el fin de utilizar la TC para crear un espacio de socialización y ocio del que pudieran apropiarse los usuarios del edificio cercano, se optó por el plan de infiltración. Según Ferreira et al. (2013), esto se inunda cuando ocurren altas tasas de lluvia, mientras que el pozo de infiltración se usa para la escorrentía en lluvias más frecuentes.

Una característica destacada de las TCs implantados en el campus es que, en la mayoría de ellos, se incentiva el uso del espacio como zona de convivencia de los transeúntes, demostrando la posibilidad de interacción y multifuncionalidad de los dispositivos aplicados en un entorno urbano construido.

El segundo pozo tuvo como responsable a Angelini Sobrinha (2012), y hubo una mezcla de acequia y pozo de infiltración (ítem 7 de la Figura 2). La zanja de infiltración tiene la función de dirigir el agua recolectada por las canaletas del techo hacia la superficie del pozo, ayudando también a retener sedimentos. Como el primero, esta TC también fomenta la apropiación del lugar como espacio de socialización y ocio.

El pozo tiene su núcleo estructural en anillos de hormigón perforado, con un revestimiento de manta de geotextil y colocación de ladrillos perforados y otra manta de geotextil en los lados para contener el suelo que podría ingresar al sistema y aumentar el área de infiltración. En la base se colocó grava 3 y un bloque de hormigón. La rejilla metálica, envuelta en una manta geotextil y la capa de arena gruesa y grava 3 colocada en la parte superior del pozo, permite la remoción de sedimentos y la entrada de agua al sistema. También se instaló un aliviadero de 90° en el recorrido del agua, antes de llegar a la superficie del pozo. Con el objetivo de su apropiación, también se desarrollaron ideas para la identificación y mejora de las condiciones del paisaje local con la implantación de bancos de formas orgánicas y vegetación similares a los planes de infiltración (PEREIRA, 2016; ANGELINI SOBRINHA, 2012).

4.2 Análisis espacial

En el campus de la UFSCar en São Carlos/SP, a pesar de que existe una considerable disponibilidad de espacios libres (según el Plan Maestro del Campus), existe una expectativa de expansión en los edificios existentes e implementación de nuevas construcciones. Por lo tanto, la consulta con el Ayuntamiento del campus con respecto a las ubicaciones gratuitas en el momento del proyecto y en las estrategias de expansión del edificio fue extremadamente necesaria.

Se generó el análisis del metraje de superficie requerido para la implantación de los dispositivos. Tabla 1. No se incluyeron los dispositivos con función de transporte de agua de

lluvia, solo aquellos con función de almacenamiento. El cálculo del área de contribución consideró la superficie del área que recibe el agua de lluvia desconectada agregada a la superficie del propio TC.

Tabla 1: TC de UFSCar y áreas utilizadas

Técnica compensatoria	Superficie ocupada por TC (m ²) - A	Área de contribución (m ²) - B	Relación A / B (%)
Plan I	385	3386	11,4
Plan II	354	7701	4,6
FVT	570	3901	14,6
Bien planificado	18	453	4,0
Pit-Valletta	3,8	152	2,5
Bueno yo	1,2	288	0,4
Bueno, yo	1,2	182	0,6

Fuente: LUCAS, 2011; ANGELINI SOBRINHA, 2012; TECEDOR, 2014; BAPTISTA, 2015; PEREIRA, 2016; FERREIRA, 2016; GOOGLE EARTH, 2019; elaborado por el autor, 2019.

5. CONCLUSIÓN

Después de la observación y análisis, a través de las diferentes tesis y disertaciones sobre los diferentes aspectos de las TCs de la UFSCar, se puede considerar que hubo un aporte significativo desde el punto de vista hidrológico, ambiental y de salud. Urbanísticamente, se ganaron espacios libres calificados, incluso con un mantenimiento limitado.

A lo largo de los años, aparte de las investigaciones derivadas del dimensionamiento hidrológico y el seguimiento y observación empíricos por parte de G-HIDRO, no se han presentado denuncias o denuncias con el Ayuntamiento del campus por la acumulación de agua de lluvia más allá del cálculo de 24 horas, incluso en ocasiones con alta precipitación. Se concluye que las TCs cumplen con las recomendaciones sanitarias y funciones hidrológicas para las que fue diseñado.

En cuanto al tratamiento del paisaje, la mayor parte del proyecto implementado se perdió por el inadecuado mantenimiento y el ataque, principalmente, de hormigas, por la cercanía al Cerrado. A las pocas semanas de su implantación se descubrió la preferencia de la fauna local por las especies vegetales elegidas, principalmente las floridas (PEREIRA, 2016). Sin embargo, quedan algunas especies más grandes, como los agaves y las palmeras.

El campus de la UFSCar, como fragmento del espacio urbano, muestra que, para implementar estos enfoques que favorecen la escorrentía y la infiltración de aguas pluviales, se requieren espacios urbanos disponibles (lotes, parcelas, áreas verdes, etc.), ya que se minimizarían sistemas de tuberías enterrados.

El análisis del porcentaje ocupado por las TCs UFSCar mostró que las áreas ocupadas por PI1 y FVT estaban sobreestimadas, dada la efectividad de los dispositivos del plan de infiltración con área ocupada cercana al 4 o 5% del área de contribución.

Si se comparan las tasas de permeabilidad promedio requeridas por los municipios (10% del área del lote) con los porcentajes de áreas necesarias para la construcción de los

dispositivos, son suficientes. Sin embargo, en áreas permeables no existen especificaciones sobre el requerimiento de las TCs, lo que podría optimizar la capacidad de almacenamiento y la infiltración de agua de lluvia.

Además, la posibilidad de multifuncionalidad en el área de las TCs optimizaría los espacios de permeabilidad, proporcionando un mejor aprovechamiento de dichas áreas, además de corroborar la prueba de la posibilidad de implantar dispositivos, incluso en áreas pequeñas.

La ejecución de las TCs ya es una realidad en las ciudades brasileñas, pero no se destacan sobre la compatibilidad de estos con los Planes de Ordenamiento Territorial, PDUs e incluso Planes de Drenaje. Dichos estudios son materia de la maestría del autor, que aborda la compatibilidad entre los PDUs y los espacios necesarios para la gestión sostenible del agua de lluvia.

Este artículo contribuye a la evaluación del uso de técnicas de gestión pública a partir de estudios como estos, considerando que la aplicación de experimentos realizados a escala real demuestra la eficiencia hidrológica y la posibilidad de integración paisajística y urbana de las Técnicas Compensatorias con el fin de retención y retención de agua de lluvia en un entorno urbano construido.

Sin embargo, se enfatiza la importancia de que dichos enfoques alternativos y sostenibles sean discutidos, principalmente, en los PDUs, para que su aplicabilidad llegue a la ciudad real y la función social y ambiental del destino del suelo urbano.

REFERENCIAS

- ANGELINI SOBRINHA, L. A. **Monitoramento e modelagem de um poço de infiltração de águas pluviais em escala real e com filtro na tampa**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2012. 149 p.
- BAPTISTA, L. F. S. **Aspectos Ambientais, Sanitários, Hidrológicos e Urbanísticos na Concepção e Aplicação do LID (Low Impact Development) em Microbacia na UFSCar**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2015. 171 p.
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2011. 318 p.
- BARROS, A. M. F. B.; CARVALHO, C. S.; MONTANDON, D. T. O Estatuto da Cidade comentado: Lei Nº 10. 257 de 10 de julho de 2001. In: CARVALHO, C. S.; ROSSBACH, A. **O Estatuto da Cidade: comentado**. São Paulo: Ministério das Cidades: Aliança das Cidades, 2010. Disponível em: http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/PlanelamentoUrbano/EstatutoComentado_Po rtugues.pdf. Acesso em: 9 abr. 2019.
- BUTLER, D.; DAVIES, J. W. **Urban drainage**. Londres: St. Edmundsbury Press, 2000. 489 p.
- CAMBRIDGE CITY COUNCIL. **Cambridge design and adoption guide: sustainable drainage**. Cambridge: Environment and Planning Cambridge City Council, 2009. Disponível em: <https://www.cambridge.gov.uk/media/5457/suds-design-and-adoption-guide.pdf>. Acesso em: 06 set. 2019.
- 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**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2014. 104 p.
- FERNANDES, E. O Estatuto da Cidade e a ordem jurídico-urbanística. In: CARVALHO, C. S.; ROSSBACH, A. **O Estatuto da Cidade: comentado**. São Paulo: Ministério das Cidades: Aliança das Cidades, 2010. Disponível em:

http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/PlanelamentoUrbano/EstatutoComentado_Po rtugues.pdf. Acesso em: 9 abr. 2019.

FERREIRA, T. S. **Avaliação do comportamento hidrológico de poços de infiltração de águas pluviais sob diferentes concepções**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2016. 149 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. [S. l.], 2010.

Disponível em:

https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/sinopse/sinopse_tab_brasil_zip.shtm. Acesso em: 25 mar. 2019.

JHA, A. K.; BLOCH, R.; LAMOND, J. **Cidades e Inundações: um guia para a gestão integrada do risco de inundação urbana para o século XXI**. Washington, D.C.: The World Bank, 2012. Disponível em:

http://mi.gov.br/pt/c/document_library/get_file?uuid=3c3b9a72-9358-415f-9efe-89fad4cbb381&groupId=10157.

Acesso em: 15 ago. 2019.

LUCAS, A. H. **Monitoramento e modelagem de um sistema filtro-vala-trincheira de infiltração em escala real**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2011. 159 f.

MOTA, E. (coord.). **Projeto técnico: calçadas acessíveis**. [S. l.]: Soluções para Cidades, 2014. 22 p. Disponível em:

<http://solucoesparacidades.com.br/mobilidade/projeto-tecnico-calçadas-acessíveis/>. Acesso em: 6 set. 2019.

OLIVEIRA, A. P. **Avaliação da multifuncionalidade e de custos de técnicas compensatórias de drenagem na revitalização de áreas urbanas em Guarulhos, SP**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2018. 173 p.

PAIVA, S. B. **Subprojeto LID/UFSCar**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2016. 9 p.

PARRA, G. G. **Estudo comparativo dos efeitos dos espaços de circulação e permanência de pedestres (ECP) sobre o manejo das águas de chuva**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2016. 120 p.

PEREIRA, T. R. D. S. **Projeto paisagístico como instrumento de integração de técnicas compensatórias à paisagem urbana: Estudo de caso aplicado em planos de infiltração do campus da UFSCar**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2016. 127 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MESQUITA (Brasil, Rio de Janeiro, Mesquita). Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo. **Calçada melhor: manual prático para construção e manutenção de calçadas no município de Mesquita**.

Mesquita: Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo, 2018. 94 p. Disponível em:

<http://www.mesquita.rj.gov.br/pmm/manual-de-acessibilidade-calcada-melhor.pdf>. Acesso em: 6 set. 2019.

PRINCE GEORGE'S COUNTY. **Low-Impact Development Design Strategies: an integrated design approach**.

Maryland: Department of Environmental Resource, 1999. Disponível em:

<https://www.princegeorgescountymd.gov/1478/Design-Manuals>. Acesso em: 28 mar. 2019.

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

RIGHETTO, A. M. (Coordenador). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. Disponível em:

https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_4.pdf.

Acesso em: 14 ago. 2019.

SHINZATO, A. H. **Avaliação da remoção de material particulado em canal raso gramado**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2015. 75 p.

SOUZA, V. G. A. S.; CABRAL, J. J. S. P.; COUTINHO, A. P.; SILVA, P. O. Construção de trincheira de infiltração aplicada como técnica compensatória em uma bacia urbana na cidade do Recife-PE. In: **Encontro Nacional De Águas Urbanas**, XII, 2018, Recife/PE. [...]. Recife: ABRH, 2018. Disponível em: [https://s3-sa-east-](https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/abrh/Eventos/Trabalhos/82/10313.pdf)

[1.amazonaws.com/abrh/Eventos/Trabalhos/82/10313.pdf](https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/abrh/Eventos/Trabalhos/82/10313.pdf). Acesso em: 4 set. 2019.

TECEDOR, N. **Monitoramento e modelagem hidrológica de plano de infiltração construído em escala real**. São

Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2014. 94 p.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. In: Carlos E. M. Tucci; Rubem La Laina Porto; Mário T. de Barros. (Org.). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS) - ABRH Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v. 1, 1995. p. 15-36.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, p. 5-27, jan./mar. 2002. Disponível em:

<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=99&SUMARIO=1583>. Acesso em: 23 mar. 2019.

UNIVERSITY OF ARKANSAS COMMUNITY DESIGN CENTER. **LID - Low Impact Development**: a design manual for urban areas. Fayetteville: University of Arkansas Press, 2010. Disponível em: <http://uacdc.uark.edu/work/low-impact-development-a-design-manual-for-urban-areas>. Acesso em: 24 mar. 2019.

URBONAS, B.; STAHR, D. **Stormwater**: Best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993. 449 p.

VENTURA, K. S.; VAZ FILHO, P.; GONÇALVES, L. M. Gestão integrada de projetos sustentáveis em municípios de médio porte. In: ROSIN, J. A. R. G.; BENINI, S. M. **Cidade Sustentável**: um conceito em construção. Tupã/SP: ANAP, 2019.