

Una revisión del desempeño de los jardines de lluvia y los tipos de suelo

Clarissa Gonçalves Ribeiro Furlani

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UnB, Brasil

ORCID: 0000-0001-7492-7536

clarissa.furlani@aluno.unb.br

Daniel Sant'Ana

Grupo de Pesquisa Água & Ambiente Construído, UnB, Brasil

ORCID: 0000-0002-9020-081X

dsantana@unb.br

RESUMEN

El cambio climático global, la impermeabilización excesiva, el crecimiento urbano acelerado, la canalización de ríos y arroyos son algunas de las motivaciones que contribuyen a alterar el ciclo hidrológico. Estas transformaciones impactan el régimen de lluvias, y pueden generar problemas como inundaciones e inundaciones, sin embargo, pueden ser abordados mediante técnicas de desarrollo de bajo impacto, y un ejemplo de ello son los jardines de lluvia, cuyo principal objetivo es captar y atenuar la superficie. Las precipitaciones de escorrentía y contribuyen a la recarga de los acuíferos. Se realizaron muchos estudios y simulaciones sobre el tema, sin embargo, es necesario comprender cómo las características locales, climáticas y de diseño podrían influir en el desempeño de estas estructuras, para que el desarrollo de los proyectos se lleve a cabo de manera asertiva. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica sistemática, utilizando protocolos de búsqueda en la plataforma Web of Science, de la cual se extrajeron 50 artículos que apoyaron el desarrollo de la investigación. Los hallazgos describieron los principales factores que influyen en el rendimiento de los jardines de lluvia, tales como: clasificación del suelo, conductividad hidráulica, características climáticas, altura del nivel freático y geometría del diseño. De la investigación resultó evidente que, a pesar de la posibilidad de que factores como los tipos de suelo y los índices de lluvia influyan negativamente en el rendimiento de los jardines de lluvia, estos pueden evitarse con el desarrollo de estrategias de diseño adecuadas. Finalmente, el estudio proporcionó la sistematización de información considerando tipologías de suelos, fortalezas y debilidades, así como sugerencias para abordar las limitaciones identificadas, con miras a ayudar en el análisis y desarrollo de proyectos.

PALABRAS CLAVE: Jardines de lluvia, tipos de suelo, TAPA, nivel freático, rendimiento

1. INTRODUCCIÓN

Las inundaciones y las inundaciones son una realidad en muchas ciudades brasileñas. Según ANA (2014), en 2.780 cursos de agua brasileños hay alrededor de 13.948 tramos inundables. De estos, el treinta por ciento se clasifican como altamente vulnerables, es decir, reciben eventos extremos que se repiten en períodos menores a cinco años. Las inundaciones urbanas representan riesgos importantes en términos de comprometer servicios esenciales, causando daños a la propiedad pública y privada, así como a la vida humana (ANA, 2014). Solo en la capital paulista existen 18 tramos inundables registrados, de los cuales 16 fueron clasificados como de alta vulnerabilidad (ANA, 2012).

La ocurrencia de este tipo de desastres naturales se correlaciona con el cambio climático global, el sellado excesivo de suelos y la canalización de ríos y arroyos, que terminan alterando el ciclo hidrológico natural (JATOBÁ, 2011). Estas y otras consecuencias están ligadas al modelo de urbanización implementado en varios centros urbanos brasileños y mundiales, que puede tener sus efectos mitigados mediante la aplicación de técnicas de Low Impact Development, del Inglés Low Impact Development (LID)¹. En general, LID se ocupa de la gestión de aguas pluviales urbanas con soluciones basadas en la naturaleza (UACDC, 2010).

Actualmente, los movimientos gubernamentales y populares por ciudades más sostenibles ocurren a nivel mundial y podemos destacar la búsqueda por la adopción de métodos alternativos y prácticas de desarrollo urbano con bajo impacto ambiental. Las soluciones incluyen sistemas de infiltración, filtrado, almacenamiento, evaporación y paisajismo combinados con soluciones como: control de flujo, cuencas de detención, retención, incluso sistemas con énfasis en la infiltración y que consecuentemente promueven el tratamiento de

¹ LID también conocido como: Infraestructura Verde (o Verde-Azul), Desarrollo Urbano de Bajo Impacto, Mejores Prácticas de Gestión (BMP), Drenaje Urbano Sostenible (SUD) y Drenaje de Agua Urbano Sostenible (SUWD).

fluidos. Las soluciones de desarrollo de bajo impacto deben elegirse y adaptarse según la demanda y las características del lugar en el que se pretende intervenir (UACDC, 2010).

Los jardines de lluvia² pueden describirse como sistemas de infiltración y también como cuencas de detención (ARAVENA, 2009). Según Aravena (2009), estos sistemas son más efectivos en eventos de precipitación de intensidad pequeña a media. Los jardines de lluvia tienen una capacidad significativa para retrasar y atenuar el flujo de agua de lluvia, lo que contribuye a un aumento en la tasa de infiltración y absorción del agua de lluvia por el suelo (MONASH, 2014). Este sistema trabaja con un solapamiento de varias capas de material filtrante combinado con el uso de especies vegetales que se encargan de amortiguar el caudal de agua, así como de remover la carga de contaminantes y facilitar su permeabilidad a través del suelo (MONASH, 2014). Así es como funcionan estos dispositivos para atenuar la incidencia de picos de caudal que podrían ocasionar problemas como inundaciones, desbordes y sobrecargas de los sistemas de drenaje. Además de todos los beneficios que generan los sistemas de drenaje urbano consolidados, también pueden interpretarse como una alternativa para mejorar las condiciones de urbanización (UACDC, 2010).

Diferentes ejemplos de aplicación de la técnica en territorios internacionales refuerzan el potencial de tecnologías de bajo impacto como los jardines de lluvia como sistemas de apoyo en el drenaje urbano (CORMIER, 2008). En Seattle, se estima que el jardín diseñado e implementado en la 12th Avenue captura casi la totalidad de los aproximadamente 681,000 litros de agua de lluvia que drenan al sitio anualmente, además de reducir la escorrentía en al menos un 70% (VOGEL, 2006). La ciudad aún tiene otros casos que muestran el desempeño de estas soluciones, como el Proyecto SEA Street que cubrió 183m de 2nd Ave, donde dos cuadras recibieron intervenciones, que, según mediciones realizadas por equipos de la Universidad de Washington, los jardines pudieron capturar el 96% del agua de la escorrentía de las precipitaciones (VOGEL, 2006).

Los jardines de lluvia aún pueden brindar ganancias secundarias como beneficios para el microclima, el paisaje, el uso de especies nativas, el restablecimiento del hábitat natural, además de mejorar la capacidad de recarga de los acuíferos locales (MONASH, 2014). Sin embargo, los beneficios de implementar estas tecnologías están directamente relacionados con el tipo de suelo local, la composición de las capas del jardín de lluvia, la vegetación, el formato del lecho y los dispositivos de drenaje (ZHANG, CHUI, 2019). Según Zhang y Chui (2019), dependiendo de los factores mencionados anteriormente, los jardines de lluvia pueden cumplir con su propósito con gran éxito, provocando impactos negativos como el transporte de solutos a los acuíferos y consecuentemente provocando la contaminación de aguas más profundas, o incluso realizar funciones. como atenuar la escorrentía de agua de lluvia, en caso de que acabe interceptando el nivel freático. Por lo tanto, es importante considerar aspectos relacionados con la conductividad hidráulica, la composición local del suelo y el formato del lecho. Cabe señalar que al analizar el tipo de suelo y la altura del nivel freático, es posible estimar el rendimiento y la viabilidad técnica de la implementación.

Aún queda un largo camino por recorrer en cuanto al desempeño y los beneficios ambientales que promueven los jardines pluviales en las zonas urbanas. Se observa que el

² También conocido como: biorretenciones, acequias, cuencas de infiltración o jardines y lecho de lluvia.

abánico de datos y parámetros presentados en estudios previos es amplio. Así, de esta forma, sería posible obtener intervalos más asertivos y coherentes, clasificando los estudios según las características de composición del suelo. Así, este trabajo tuvo como objetivo comparar diferentes tipos de suelo con la capacidad de infiltración de los jardines de lluvia de estudios previos para comprender cómo estos factores afectan su desempeño.

2. MÉTODO

Para alcanzar el objetivo planteado, este trabajo llevó a cabo una revisión bibliográfica sistemática sobre el tema a través de la búsqueda y selección de artículos científicos cuyos datos de desempeño, caracterización de jardines de lluvia, diseño y clasificación de suelos fueron publicados en revistas internacionales.

La búsqueda bibliográfica se inició con la búsqueda de trabajos originales y artículos de revisión en la plataforma Web of Science utilizando las siguientes palabras clave: Rain Garden; Jardines de lluvia; Desarrollo de bajo impacto; Infraestructura verde; Aguas pluviales; Mejores prácticas de gestión; Nivel freático; Rendimiento y heterogeneidad geológica. Las palabras se combinaron usando operadores booleanos usando los términos Y y O para construir los siguientes protocolos de búsqueda:

1. ("*Rain Garden*" OR "*Rain Gardens*") AND ("*Low Impact Development*" OR "*Green Infrastructure*") AND "*Stormwater*"
2. "*Green infrastructure*" AND "*Low impact development*" AND "*Best management practices*" AND "*stormwater*"
3. "*Groundwater table*" AND ("*Green infrastructure*" OR "*Low impact development*" OR "*Best management practices*" OR "*Stormwater*")
4. "*Geological heterogeneity*" AND ("*Green infrastructure*" OR "*Low impact development*" OR "*Best management practices*" OR "*Stormwater*")
5. "*Performance*" AND ("*Green infrastructure*" OR "*Low impact development*" OR "*Best management practices*") AND ("*Rain Garden*" OR "*Rain Gardens*").

En cuanto a los criterios utilizados para la búsqueda, los protocolos se aplicaron a la investigación en todos los campos, es decir, realizados tanto en el título del artículo, palabras clave y cuerpo del texto, además de atender la necesidad de publicación en inglés y el Periodo de indexación estipulado entre el 1 de enero de 2016 y el 30 de septiembre de 2021.

En cuanto a los criterios de inclusión de obras, se debe presentar el análisis de un caso real o simulación, con información sobre el propósito del proyecto, tipo de suelo del sitio de implementación del jardín de lluvia, capacidad de infiltración, datos de desempeño, diseño y altura del terreno. fondo del jardín de lluvia en relación con el nivel freático.

La búsqueda en la base de datos consideró los cinco protocolos ya presentados y arrojó un total de 260 artículos. De estos, en un primer momento se excluyeron 219 trabajos, que fueron aquellos cuyo título y resumen no mostraron correlación con el objetivo de este estudio. La Tabla 01 presenta los resultados obtenidos en el uso de cada protocolo y el número de trabajos considerados y descartados.

Tabla 01: Correlación entre los resultados de los protocolos de búsqueda y los trabajos considerados y descartados.

Protocolo	Resultados encontrados	Resultados Considerados	Resultados Excluidos
1	133	23	110
2	16	4	12
3	23	6	17
4	4	1	3
5	84	7	77

Luego del análisis inicial, se seleccionaron 41 obras relevantes, que fueron analizadas y sus datos utilizados para comprender cómo el tipo de suelo y la capacidad de infiltración afectan el desempeño de los jardines de lluvia. Asimismo, se incluyeron 9 publicaciones que ayudaron a construir el capítulo introductorio, totalizando 50 trabajos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los jardines de lluvia tienen áreas de superficie equivalentes al 5 a 15% del área de contribución, es decir, el área de influencia o cobertura de recolección de precipitación (ZHANG, CHUI, 2016). Estas estructuras se construyen a través de la superposición de capas, donde cada una tiene una función distinta. La capa superior, es decir, la capa más externa, suele estar cubierta de maleza, grava, hojas secas, corteza de árbol u otros materiales similares, y tiene un grosor total de aproximadamente 2 a 7 centímetros. Es en esta capa donde el agua proveniente de la lluvia, con ayuda de los materiales que la recubren, iniciará el proceso de infiltración. El paisajismo es una herramienta importante para promover la permeabilidad y ayuda en el flujo de infiltración y percolación del agua, por lo que, en general, se indica el uso de especies nativas que estén adaptadas a largos períodos de exposición y condiciones de inmersión (SHARMA, MALAVIYA, 2020).

En cuanto a la segunda capa, tiene un espesor de entre 14 y 25 centímetros, y comúnmente está compuesta por piedras, grava y materiales granulares. Esta capa necesita ser envuelta en material drenante como geotextiles, con el fin de evitar atascos, atascos de los sistemas de drenaje complementarios e incluso en los sistemas que abastecen el jardín de lluvia, como la recolección de agua de los techos. La envolvente de la capa también debe entenderse como los lados del jardín de lluvia, aunque a efectos de cálculo y modelado, estos no se consideran superficies drenantes por su bajo aporte, que representa alrededor del 20% (D'ANIELLO, CIMORELLI, COZZOLINO, 2019). Finalmente, la última capa con un espesor entre 45 y 90 centímetros, que puede estar compuesta por suelo predominantemente arenoso (alrededor del 90%), y es la encargada de promover la percolación del agua infiltrada por el fondo del jardín de lluvia y que también sirve como embalse, ya que el tiempo de infiltración depende de la conductividad hidráulica del suelo debajo (SHARMA, MALAVIYA, 2020).

Zhang y Chui (2016), por otro lado, también describen los jardines de lluvia como un sistema compuesto por una cama con tres capas de diferentes dimensiones. Para la primera capa, el espesor establecido es de 15 a 30 centímetros, que es responsable del almacenamiento inicial de agua de lluvia; la segunda capa, con una profundidad entre 50 y 120 centímetros, está

compuesta por materiales encargados de filtrar el agua, y finalmente la última capa, de 30 centímetros de espesor, está compuesta de grava e interconecta el jardín de lluvia con el suelo, liberando agua para la percolación. como se ejemplifica en la Figura 01.

Figura 01: Representación esquemática de un jardín de lluvia



En cuanto a las condiciones locales, como el tipo de suelo y el volumen de precipitación incidente en el jardín de lluvia, estos son factores determinantes para el desarrollo del proyecto de manera adecuada, para que el jardín de lluvia pueda realmente cumplir su propósito. Estos datos son la base para comprender y determinar cómo se debe construir cada capa, de acuerdo con los tipos de materiales, espesores, formas y necesidades locales y del proyecto.

3.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DE LOS JARDINES LLUVIOSOS

El desempeño de los jardines de lluvia está sujeto a los más diversos factores, entre ellos la clasificación del suelo del lugar elegido para la implementación (D'ANIELLO, CIMORELLI, COZZOLINO, PIANESE, 2019), materiales especificados para composición de las capas del sistema, conductividad hidráulica, paisajismo, condiciones ambientales (LI, XIONG, ZHU, LIU, DZAKPASU, 2021) y la altura del nivel freático (ZHANG, CHUI, 2019).

Sharma y Malaviya (2020) clasificaron los jardines de lluvia en cuatro tipologías según sus características de permeabilidad del suelo. En el primer tipo, la permeabilidad del suelo es superior a 30 mm / hy permite una completa infiltración y percolación del agua. El segundo tipo, como son los suelos con permeabilidad mayor a 15 mm / hy menor a 30 mm / h, donde también ocurren infiltraciones y percolaciones totales. Sin embargo, más lentamente, existe la necesidad de tener una capa porosa que actúe como depósito temporal de agua, dada la disminución de la conductividad hidráulica. El tercer tipo, en cambio, cubre suelos con permeabilidad entre 1 y 15 mm / h, donde existe la necesidad de utilizar dispositivos de drenaje, como tubos perforados. El cuarto tipo incluye suelos con permeabilidad inferior a 1 mm / h, es decir, poco permeables y de baja conductividad hidráulica. En este último caso, el control del caudal de agua puede verse afectado, por lo que se deben adoptar medidas paliativas (LI, XIONG, ZHU, DZAKPASU, 2021).

Aún tratando con la capacidad de conductividad hidráulica de los suelos, y en este aspecto junto con la intensidad de las lluvias, estos factores cuando se combinan muestran un impacto en el desempeño de los jardines de lluvia (HAGER, HU, HEWAGE, SADIQ, 2019). Estos aspectos fueron reforzados por los hallazgos de Anderson, Franti y Shelton (2018), quienes demostraron en sus estudios que dependiendo de la composición del suelo, es necesario ajustar

las dimensiones de la capa de almacenamiento y retención para que el suelo que hace el jardín de lluvia no se satura por completo y deja de tratar la escorrentía.

El mantenimiento del sistema es también un factor relevante para su conductividad hidráulica, ya que existe la posibilidad de acumulación de materiales particulados en la superficie del jardín de lluvia, que pueden filtrarse y reducir la capacidad de absorción e infiltración de las capas subyacentes (SHARMA, MALAVIYA, 2020). D'Aniello, Cimorelli y Cozzolino (2019), proponen como solución contra la sedimentación y pérdida de capacidad de infiltración, la construcción de una región de sedimentación, que preservaría la eficiencia del sistema y facilitaría la realización de mantenimientos periódicos.

Otro aspecto importante es la presencia de agua subterránea. En lugares donde el nivel freático está cerca de la superficie o el nivel más bajo del jardín de lluvia, es posible que, durante la percolación del agua, se produzca la elevación del nivel freático. El aumento en el volumen de agua de lluvia puede influir en la capacidad del sistema y, dada la posibilidad de una saturación temprana del suelo local, existe una probabilidad de contaminación del agua subterránea, ya que la capa filtrante puede no ser suficiente para retener los contaminantes (ZHANG, CHUI, 2016). Una forma de tratar la saturación del jardín de lluvia es adoptar sistemas capaces de recolectar el exceso de volumen de agua y llevarlo a un lugar adecuado para su infiltración.

En cuanto a la prevención de la contaminación del suelo, los hallazgos reportados por Zhang y Chui (2016) establecen una distancia de 1.5 a 3.0 metros entre el nivel más bajo del jardín de lluvia y la parte superior del nivel freático como margen seguro, lo que sería suficiente para prevenir la contaminación en lugares donde los suelos son menos permeables.

Aún tratando con el desempeño de los jardines de lluvia, Zhang y Chui (2016) establecieron correlaciones entre el desempeño del sistema y su forma. Los autores concluyeron que los jardines de lluvia con la misma área de infiltración, pero con anchos más grandes, son capaces de infiltrar una mayor cantidad de agua en relación con los jardines de lluvia más estrechos que mantuvieron la misma área de infiltración superficial. De hecho, hay muchos factores que pueden influir en la eficiencia de un jardín de lluvia y comprender cómo se comportan e interactúan entre sí es un sesgo importante para obtener buenos resultados.

3.2. TIPOS DE SUELOS Y SUS INFLUENCIAS

Estudios anteriores ya han destacado que la composición del suelo puede influir directamente en la capacidad de infiltración de los jardines de lluvia e impactar su rendimiento. De manera integral, los suelos se pueden dividir en dos categorías amplias: aquellos con baja conductividad hidráulica (menos permeables); y los de alta conductividad hidráulica (más permeables). Dentro de estas dos clasificaciones, podemos destacar que los suelos con mayor permeabilidad son más aptos para regular y controlar la escorrentía superficial de agua de lluvia. Los suelos menos permeables, por otro lado, tienen ventajas de instalación en áreas donde hay presencia de elementos contaminantes y se desea preservar la calidad de las aguas subterráneas (ZHANG, CHUI, 2019).

Siguiendo a Zhang y Chui (2019), los suelos menos permeables, como las arcillas arenosas, cuando se utilizan en capas destinadas a la retención y filtración, realizan funciones relacionadas con la mejora de la calidad del agua que llegará al agua subterránea. Sin embargo, pueden reducir el rendimiento de los sistemas en términos de su capacidad para retener la

escorrentía, ya que alcanzan su límite más rápidamente. Zhang y Chui (2016) señalan que del 60 al 100% del agua de lluvia que recibe un jardín de lluvia cuyo lecho está compuesto por arena arcillosa es absorbido y, para suelos identificados como arcillo arenoso, las tasas están entre 20 y 85%, lo cual se explica dada la baja porosidad del material, lo que dificulta la percolación del agua y hace que el proceso de percolación requiera más tiempo. Una vez que el sistema funciona a su máxima capacidad por períodos más largos, es decir, el suelo permanece saturado por más tiempo, la recolección de agua de lluvia se verá afectada.

Por tanto, es posible relacionar el comportamiento y función de cada tipo de suelo, así como el tiempo de percolación del agua. Para las arcillas arenosas, se estima un período de 50 a 180 horas, mientras que para los suelos tipo arenas arcillosas hay una reducción, con percolación ocurriendo en el período de 2.5 a 70 horas (ZHANG, CHUI, 2016). También en este sentido, luego de analizar los datos, es posible comprender la formación de áreas de acumulación de agua subterránea alrededor del lecho de los jardines de lluvia, especialmente en lugares donde hay incidencia de arcilla, la cual no se observa en áreas de suelo arenoso, dado que la disipación, es decir, la percolación hasta llegar al nivel freático, se produce de forma rápida, de una forma que puede entenderse como una gran ventaja, ya que evita la saturación prematura del lecho y, en consecuencia, una posible caída del rendimiento.

El comportamiento de las diferentes composiciones del suelo apunta a una mayor relevancia en eventos de lluvias severas, no mostrando cambios importantes en el desempeño en casos de lluvias débiles y regulares (ZHANG, CHUI, 2016).

D'Aniello, Cimorelli, Cozzolino y Pianessi (2019) señalan que para suelos heterogéneos, descritos en sus estudios como suelos arcillosos, cuanto más profunda es la capa filtrante, mayor es la capacidad de almacenamiento de agua y con ello disminuye la influencia de composición del suelo en la capacidad de captura del sistema. Los estudios de D'Aniello, Cimorelli y Cozzolino (2019) también señalan que además de la clasificación del suelo y la capacidad de permeabilidad, la forma del área de infiltración también influye en el desempeño de los jardines de lluvia.

También en lo que respecta a la conductividad hidráulica, los suelos que tienen baja permeabilidad, es decir, los identificados con baja conductividad hidráulica, pueden sufrir atascos, lo que reduce la capacidad de retención de agua en los jardines de lluvia, y lo que también ocurre cuando estos suelos están presentes en capas posteriores (LI, XIONG, ZHU, DZAKPASU, 2021). Por otro lado, los suelos excesivamente permeables pueden permitir la infiltración de contaminantes, como los metales pesados, que es menos probable en suelos arcillosos. Li, Xiong, Zhu, Liu y Dzakpasu (2021) señalan que es posible agregar la capa filtrante, materiales como fibra de coco, carbón vegetal y biocarbón, por ejemplo, de esta manera es posible obtener buenas condiciones de permeabilidad e incluso promover la remoción de materiales contaminantes.

La Tabla 01 presenta objetivamente las condiciones de conductividad hidráulica, los aspectos positivos y negativos de suelos arenosos y arcillosos, así como las medidas sugeridas encontradas en los estudios de caso analizados que pueden contribuir a atenuar los efectos no deseados y el desempeño.

Cuadro 1: Cuadro resumen de las principales características y comportamiento del suelo en jardines de lluvia.

Tipo de solo	Conductividad hidráulica	Beneficios	Fraquezas	Soluções possíveis para tratamento das fraquezas
Arcilloso	Bajo	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para retener materiales contaminantes; • Formación de zonas de acumulación de agua (zonas saturadas); 	<ul style="list-style-type: none"> • Obstrucción: reducción de la permeabilidad y consecuentemente de la capacidad de retención del jardín de lluvia; • Cuando se encuentra muy cerca del nivel freático, mayores son las posibilidades de ocurrencia de zonas saturadas y evitando la consecuente reducción en la capacidad de control de la escorrentía superficial. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de una capa de almacenamiento y filtrado más gruesa; • Capa filtrante que incorpora materiales capaces de mejorar la conductividad; • Construcción de un área de sedimentación; • Mayor distancia del nivel freático.
Arenoso	Alta	<ul style="list-style-type: none"> • Gran capacidad de absorción de agua; • Percolación rápida del agua en el suelo; • Alta contribución al control de la escorrentía. 	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de llevar contaminantes al nivel freático. 	<ul style="list-style-type: none"> • Capa filtrante que incorpora materiales capaces de mejorar la retención de materiales contaminantes; • Mayor distancia desde el nivel más bajo de la última capa del jardín de lluvia hasta la parte superior del nivel freático para proteger el agua subterránea.

3.3. GANHOS AMBIENTAIS

Los beneficios que brindan los jardines de lluvia van más allá del simple control del flujo de agua resultante de las precipitaciones. Estos son capaces de promover servicios ecosistémicos y ganancias ambientales, como la recarga de acuíferos a través de la alimentación de caudales subsuperficiales y de base, y también, como se discutió anteriormente, el filtrado del agua de lluvia por percolación en el suelo (PRUDENCIO, NULL, 2018).

Los servicios de los ecosistemas pueden describirse en cuatro categorías: i) prestación; ii) regulación; iii) cultural; y iv) apoyo. Según Prudencio y Null (2018) la provisión está relacionada con la disponibilidad de agua, producción de energía y alimentos vegetales, donde parte de estas ganancias está relacionada con la producción de vapor atmosférico a través de la vegetación, lo que interfiere positivamente en la factibilidad de recargar los acuíferos y en la gestión de la hidrología urbana. En cuanto a la regulación, los autores relacionan factores como el control de inundaciones, el confort térmico, la depuración de agua y el secuestro de carbono. Los aspectos culturales destacan el potencial económico, cultural, social y recreativo. Se observó que hubo un incremento en el sentido de comunidad y bienestar, además de la valoración inmobiliaria, la educación ambiental y la adopción de áreas destinadas a jardines de lluvia con fines de esparcimiento contemplativo. Y finalmente, la categoría de apoyo, donde se consideran aspectos de biodiversidad y hábitat de fauna y flora, con la preservación y reconstitución de poblaciones.

Además de los servicios ecosistémicos, Zhang y Chui (2019) señalan la capacidad de restaurar el ciclo prehidrológico, la recarga de los acuíferos, así como la capacidad de almacenar agua durante la época de lluvias, lo que contribuye a la recarga continua de agua. cuerpos. 'agua durante los períodos secos. Otro aspecto es que, dada la mejora de las condiciones hidrológicas y el aprovechamiento del paisajismo, la mejora del confort ambiental, el microclima local y las condiciones favorables para el restablecimiento de la fauna pueden verse como una ganancia, es decir, los jardines de lluvia pueden ser una estrategia. también se emplea para mejorar las condiciones de confort urbano.

4. CONCLUSIÓN

Este trabajo buscó comprender, a través de una revisión sistemática de la literatura, cómo los diferentes tipos de suelo y su capacidad de infiltración afectan el desempeño de los jardines de lluvia. En este contexto, se pudo entender que la conductividad hidráulica, composición de las capas de los lechos; y la altura del nivel freático son factores que pueden considerarse los principales supuestos para determinar el rendimiento de un jardín de lluvia.

Se evidenció a través del análisis de las obras seleccionadas, que la composición del suelo y la conductividad hidráulica, ambas características del lugar donde se pretende un jardín de lluvia, predicen si funcionará adecuadamente, especialmente en eventos de precipitación severa, cumpliendo con las premisas básicas de captación. e infiltración de agua de lluvia y atenuación de los efectos de la escorrentía superficial.

Al analizar los datos secundarios y la información recolectada, se hizo evidente la necesidad de observar, incluso a escala local, la presencia del nivel freático y su distancia a la superficie. Con esta información, es posible comprender la dinámica del funcionamiento del sitio

y todas las influencias que el tipo de suelo, la conductividad hidráulica y el nivel freático ejercerán entre sí y así, determinar de manera más asertiva las estrategias necesarias para asegurar un buen desempeño y garantía de la seguridad de la calidad de las aguas subterráneas, delineando así una metodología de trabajo.

A partir de los estudios analizados, se pudo concluir que cada tipo de suelo está predispuesto a una vocación particular. Los suelos arcillosos tienen una mayor capacidad para proteger las aguas subterráneas, ya que su baja conductividad hidráulica provoca una lenta percolación, reteniendo así partículas que pueden causar contaminación del agua, por otro lado, esta acumulación puede promover la saturación del lecho de suelo, lo que influiría negativamente en el tratamiento de escorrentía y consecuentemente su desempeño. Los suelos arenosos, en cambio, por su alta porosidad y por tanto alta conductividad hidráulica, tienen la capacidad de drenar el agua con mayor rapidez, lo que podría suponer un riesgo para la seguridad de la calidad de las aguas subterráneas si el lugar de instalación presenta la presencia de contaminantes.

Finalmente, aunque cada tipo de suelo tiene características e indicaciones predominantes para diferentes usos, es posible, a través del dominio de los supuestos locales, hacer coincidir el tipo de suelo con el desempeño requerido, utilizando estrategias de proyecto.

5. REFERENCIAS

ANA. **Atlas de Vulnerabilidade a Inundações**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2014. 15 p. Disponível em: < https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/2cfa808b-b370-43ef-8107-5c3bfd7acf9c/attachments/Atlas_de_Vulnerabilidade_a_Inundaes.pdf> . Acesso em: maio de 2021.

----- **Vulnerabilidade a Inundações do Estado de São Paulo**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2012. 1 p. Disponível em: < https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/e44b4dbc-e43c-4109-a1b2-709732424a4d/attachments/Plotagem_A0_SP_31_01_2014_new.pdf> . Acesso em: maio de 2021.

ANDERSON. A. R, FRANTI. T, G, SHELTON. D. P. **Hydrologic evaluation of residential rain garden using a stormwater runoff simulator**. Biological System Engineering: Papers and Publications, Vol. 585, 2018.

ARAVENA. J. E, DUSSAILLANT. A. **Storm-water infiltration and focused recharge modeling with finite-volume two-dimensional Richards Equation: Application to an experimental rain garden**. Journal of Hydraulic Engineering. n°. 135. Junho 2009.

CORMIER. N. S, PELLEGRINO. P. R. M. **Infra-estrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana**. São Paulo: Paisagem Ambiente: ensaios, vol. 25. p. 125-142. 2008.

D'ANIELLO. A, CIMORELLI. L, COZZOLINO. **The influence of soil stochastic heterogeneity and the facility dimensions on stormwater infiltration facilities performance**. Water Resources Management, vol. 33, p.2399-2415, 2019.

D'ANIELLO. A, CIMORELLI. L, COZZOLINO. L, PIANESE. D. **The effect of geological heterogeneity and groundwater table on the hydraulic performance of stormwater infiltration facilities**. Water Resources Management, vol. 33, p.1147-1166, 2019.

HAGER. J, HU. G, HEWAGE. K, SADIQ. R. **Performance of low-impact development best management practices: a critical review**. Environmental Reviews, vol. 27, p. 17 – 42, 2019.

JATOBÁ, S. U. S. **Urbanização, meio ambiente e vulnerabilidade social**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada: boletim regional, urbano e ambiental n°5, 2011. Disponível em: < http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5567/1/BRU_n05_urbanizacao.pdf> . Acesso em: agosto de 2021.

LI. G, XIONG. J, ZHU. J, LIU. Y, DZAKPASU. M. **Design influence and evaluation model of bioretention in rainwater treatment: A review.** Science of the total environment, vol. 787, 2021.

MONASH, Monash Water for Livability Centre. **Vegetation guidelines for stormwater biofilters in the South-west of Western Australia.** Clayton, VIC, 2014. 52p.

PRUDENCIO. L, NULL. S. E. **Stormwater management and ecosystem service: a review.** Environmental Research Letter, Vol.13, 033002, 2018.

SHARMA. R, MALAVIYA. P. **Management of stormwater pollution using green infrastructure: The role of rain gardens.** WIREs Water, vol. 8e1507, 2021.

UACDC, University of Arkansas Community Design Center. **Low Impact Development: a design manual for urban areas.** Fayetteville, AR: University of Arkansas Press, 2010. 29p.

VOGEL, Mary. **Moving toward high-performance infrastructure.** Seattle: Urban Land, outubro 2006, p. 73-79.
Disponível em: <
https://www.seattle.gov/util/cs/groups/public/@spu/@usm/documents/webcontent/spu02_019976.pdf>. Acesso em: agosto de 2021.

ZHANG. K, CHUI. T. F. M. **A review on implementing infiltration-based green infrastructure in shallow groundwater environments: Challenges, approaches and progress.** Journal of Hydrology. vol. 579, 2019.

ZHANG. K, CHUI. T. F. M. **Evaluating hydrologic performance of bioretention cells in shallow groundwater.** Hydrological Processes, vol. 31, p. 4122-4135, 2016.