

**Sistemas de biorretenção para o manejo das águas pluviais: panorama internacional e critérios para projeto**

**Bioretention systems for stormwater management: overview and design criteria**

**Sistemas de biorretención para la gestión de las aguas pluviales: panorama y criterios de diseño**

Recebido: 17/11/2020 | Revisado: 19/11/2020 | Aceito: 26/11/2020 | Publicado: 29/11/2020

**Lucas Humberto Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7574-4587>

Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

E-mail: [lucas.h.silva@ufu.br](mailto:lucas.h.silva@ufu.br)

**Frederico Carlos Martins de Menezes Filho**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4874-0254>

Universidade Federal de Viçosa, Campus Rio Paranaíba, Brasil

E-mail: [frederico.menezes@ufv.br](mailto:frederico.menezes@ufv.br)

**Ana Luiza Melo Rodrigues**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4220-6141>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil

E-mail: [ana.l.melo@ufv.br](mailto:ana.l.melo@ufv.br)

**Eduardo Beraldo de Morais**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8505-4133>

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

E-mail: [beraldo\\_morais@yahoo.com.br](mailto:beraldo_morais@yahoo.com.br)

**Resumo**

A urbanização desordenada altera o ciclo hidrológico pela intensa impermeabilização e consequente redução da infiltração das águas pluviais. Evidencia-se a necessidade de restauração das condições naturais das bacias urbanas para o devido manejo do escoamento superficial. O presente artigo descreve o estado da arte acerca dos sistemas de biorretenção (jardins de chuva, canteiros pluviais, biovaletas e lagoas pluviais). Tais sistemas representam alternativas aos sistemas clássicos de drenagem convencional, possibilitando o resgate das condições hidrológicas de pré-urbanização. O desempenho de tais estruturas, verificado com

base em intensa pesquisa bibliográfica, corrobora a eficiência das mesmas quanto aos aspectos quali-quantitativos do escoamento superficial. Por outro lado, a carência de tais informações para países de climas diversos daqueles onde as pesquisas se desenvolvem, demonstram a necessidade da proposição de critérios gerais de projeto para a efetiva aplicação. Deste modo, este trabalho apresenta em linhas gerais, os principais critérios de projeto de sistemas de biorretenção servindo como orientação para trabalhos futuros.

**Palavras-chave:** Hidrologia urbana; Desenvolvimento de baixo impacto; Infraestrutura verde.

### **Abstract**

Rampant urbanization alters the hydrological cycle by intense waterproofing and a consequent reduction in rainwater infiltration. The need to restore the natural conditions of urban basins for the proper management of runoff is evident. This paper describes the state of the art about bioretention systems (rain gardens, bioretention tree pits, bioretention swale and anaerobic bioretention system). Such systems represent alternatives to traditional urban drainage, making possible the recovery of pre-urbanization hydrological conditions. Based on broad bibliographical research, the performance of these structures proves their efficiency regarding the quantitative and qualitative aspects of runoff. However, the lack of information in countries with different weather conditions from those in which research was carried out demonstrates the need to propose general design criteria for applying bioretention systems effectively. Therefore, this paper presents, in general terms, the main design criteria of bioretention systems serving as a guide for future work.

**Keywords:** Urban hydrology; Low impact development; Green infrastructure.

### **Resumen**

La urbanización dispersa altera el ciclo hidrológico debido a la intensa impermeabilización, y consecuente reducción de la infiltración de agua lluvia. Es evidente la necesidad de restaurar las condiciones naturales de las cuencas urbanas para el debido manejo de la escorrentía superficial. Este artículo describe el estado del arte sobre los sistemas de biorretencción (jardines de lluvia, sumideros filtrantes, zanjas de infiltración y humedales). Estos sistemas representan alternativas a los clásicos sistemas de drenaje convencionales, permitiendo el rescate de las condiciones hidrológicas de la reurbanización. El desempeño de tales estructuras, verificado a través de una intensa investigación bibliográfica, corrobora su eficiencia en términos de aspectos cualitativos y cuantitativos de la escorrentía superficial. Por

otro lado, la falta de dicha información, para países con climas diferentes a aquellos donde se realiza la investigación, demuestra la necesidad de proponer criterios generales de diseño para la aplicación efectiva. De esta forma en líneas generales, este trabajo presenta los principales criterios para el diseño de sistemas de biorretención, sirviendo de guía para trabajos futuros.

**Palabras clave:** Hidrología urbana; Desarrollo de bajo impacto; Infraestructura verde.

## 1. Introdução

A partir dos anos de 1950, a intensa concentração populacional em áreas urbanas replicou-se como um fenômeno mundial. No Brasil, a inversão campo cidade se deu entre os anos 60 e 70. Tal urbanização desordenada, engendrou uma elevada pressão sobre os equipamentos urbanos, tão quanto evidenciou o déficit habitacional, intensificando os problemas relacionados ao saneamento ambiental, como as cheias urbanas.

Não obstante, a concepção higienista na drenagem urbana dominou o cenário nacional pela transferência rápida das águas pluviais para jusante (Silveira, 1998), sobretudo devido à implantação de galerias de águas pluviais e canalização ou retificação de córregos urbanos.

Conforme descrevem Eckart, McPhee & Bolisetti (2017), a vasta urbanização mundial e a intensificação mais evidente dos efeitos das mudanças climáticas são as duas principais causas contribuintes ao excessivo escoamento superficial que os sistemas convencionais de manejo de águas pluviais não conseguem adequadamente suportar. Todavia, em países desenvolvidos essa drenagem tradicional, passou a ser substituída pela infraestrutura verde conhecida também como Green Infrastructure (EPA, 2010; CNT, 2010).

Desde a década de 1970, na América do Norte e Europa essas técnicas ganharam espaço com outras denominações tais como Best Management Practices, ou Técnicas Compensatórias, medidas de baixo impacto (Low Impact Development) e drenagem urbana sustentável (Sustainable Urban Drainage System - SUDS).

Já no Brasil, apenas nos anos 90 do século passado, essas estruturas passaram a compor o retrato urbano, principalmente nas regiões sul e sudeste com a instalação das primeiras bacias de detenção e retenção (Baptista, Nascimento & Barraud, 2005).

Dentre as técnicas compensatórias, destacam-se pela ampla utilização os sistemas de biorretenção (Roy-Poirier, Champagne & Fillion, 2010). Segundo Wardynski e Hunt (2012), as células de biorretenção são estruturas de controle das águas pluviais que representam a técnica de baixo impacto mais implementada pela fácil integração à paisagem já existente. Davis et al. (2009) ainda complementam que tais sistemas, sendo na sua maioria os jardins de

chuva, já são a forma mais frequente de técnica de manejo das águas pluviais nos Estados Unidos da América (EUA).

Pelo que fora exposto, complementarmente à importância da integração dos sistemas de biorretenção ao meio urbano, destaca-se a ausência de normas correlatas à drenagem urbana como observado por Menezes Filho & Costa (2012), tão quanto, a existência do assunto, aqui tratado, em reduzida literatura (Miguez, Veról & Rezende, 2016; Tucci, 2007) e com poucos exemplos de aplicações no Brasil (Cardore, 2016; Daniel Júnior, 2013; Melo, Coutinho, Cabral & Cirilo, 2014).

Deste modo, o presente trabalho visa abordar o panorama internacional técnico-científico dos sistemas de biorretenção, abarcando o estado da arte e diretrizes gerais para projetos.

## **2. Metodologia**

O presente trabalho compreende uma revisão da literatura sobre o estado da arte acerca dos sistemas de biorretenção, objetivando sistematizar e reunir informações sobre estas estruturas sustentáveis ao manejo das águas pluviais.

Trata-se de uma pesquisa qualitativa por trazer em seu conteúdo informações retratando a eficiência destes sistemas na redução do escoamento superficial, tão quanto sobre aspectos referentes à qualidade das águas pluviais. Não obstante, engloba também do ponto de vista qualitativo, os tipos de sistemas de biorretenção, configuração, desempenho, limitações e deficiências, objetivos, critérios de projeto e dimensionamento.

Pautando-se nos procedimentos técnicos, a investigação ora apresentada, caracteriza-se por uma pesquisa bibliográfica, elaborada a partir de materiais já publicados, a saber: periódicos, dissertações, teses e livros; permitindo o contato direto entre pesquisador e todo material publicado sobre o assunto da pesquisa (Lakatos & Marconi, 2017).

Neste trabalho, dispôs-se do Portal de Periódico CAPES e do Google Acadêmico para busca de periódicos, teses e dissertações sobre o assunto em pauta.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 As melhores práticas de manejo e os sistemas de biorretenção

As melhores práticas de manejo (MPM) buscam, sobretudo, a restauração do ciclo hidrológico, por meio da utilização de técnicas mais naturalizadas de retenção, infiltração e evapotranspiração (Moura, 2013).

Neste enfoque, os sistemas de biorretenção são tecnologias promissoras, possibilitando uma interação ecológica com o meio por meio da retenção das águas pluviais e remoção de poluentes (PGC, 2007).

Como práticas de biorretenção e infiltração citam-se os jardins de chuva, as biovaletas, os canteiros pluviais e as lagoas pluviais, respectivamente exemplificados na Figura 1 (CIRIA, 2015; CNT, 2010; Cormier & Pellegrino, 2008; Moura, 2013). Outras denominações correlatas como biofiltros e trincheiras mistas (evapotranspiração e infiltração) são encontradas na literatura (Daniel Júnior, 2013; Paus & Brakerud, 2014). Alguns exemplos destas estruturas são ilustrados na Figura 1.

**Figura 1** - Exemplos de sistemas de biorretenção.



Fontes: (a) e (b): NCDENR (2009). (c) Cormier & Pellegrino (2008). (d) Dragonfly Pond Works.

Os jardins de chuva são depressões topográficas que coletam o escoamento superficial, (Figura 1a). O solo que os compõem é tratado com compostos e demais insumos como pedriscos, que aumentam a porosidade agindo como uma esponja e, microrganismos e bactérias que removem os poluentes difusos trazidos pelo escoamento superficial (Moura, 2013). Destaca-se também a vegetação presente que contribui para a remoção de poluentes. Geralmente, atendem pequenas áreas como telhados ou entradas de garagem (Ciria, 2015).

Conforme Center of Neighborhood Technology, (CNT, 2010), apresentam melhor performance se compostos por plantas de longas raízes como gramas nativas.

As biovaletas são depressões lineares instaladas dentro ou próximas de áreas pavimentadas como pátios de estacionamento ou ao longo de ruas e calçadas (Figura 1b). Embora façam parte do grupo de infraestruturas verdes, a sua função primária é a condução da água. Mesmo assim, são ótimos dispositivos a serem utilizados em casos de necessidade de pré-tratamento do escoamento (City of Chicago, 2003). Permitem ainda o armazenamento das águas por um período de tempo e depois, conduzem o escoamento para os jardins de chuva ou para o sistema coletor (esgoto/drenagem) (CNT, 2010).

Os canteiros pluviais constituem-se de jardins de chuva que foram compactados em pequenos espaços urbanos (Figura 1c), dispendo-se quando necessário de um extravasor para transbordamentos. Podem garantir além da infiltração, a evapotranspiração (Moura, 2013).

As lagoas pluviais (Figura 1d) funcionam como bacias de retenção, propiciando tanto o amortecimento de vazões quanto a remoção de poluentes por processos de sedimentação (Moura, 2013). Tais sistemas também podem ser denominados de sistemas de biorretenção anaeróbicos, onde a água armazenada é utilizada pela vegetação durante períodos secos auxiliando também, no tratamento de águas poluídas contendo nitrogênio (Ciria, 2015).

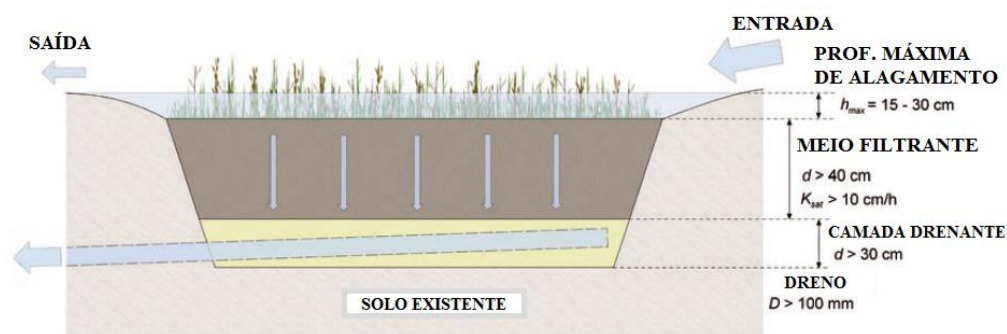
### 3.2 Configuração dos sistemas de biorretenção

Os sistemas de biorretenção com profundidades geralmente entre 0,60 e 1,20 m compõem-se de areia, solo e meio orgânico para tratar o escoamento superficial que se infiltra. O meio orgânico ou cobertura com substrato orgânico (*mulch*) pode conter diversas formas de vegetação para a retenção de uma lâmina de escoamento superficial entre 0,15 a 0,30 m bem como dispositivos para entrada, saída e transbordamento do mesmo (Davis, Hunt, Traver & Clar, 2009).

Gómez (2016) observa que, para jardins de chuva, a profundidade máxima de alagamento pode variar entre 0,30 a 0,45 m, destacando que o conteúdo de matéria orgânica na biorretenção, facilita a atividade microbiana e promove o crescimento da vegetação com alta capacidade de infiltração.

De modo geral, a aplicação de biorretenções deve ser feita ao lado de superfícies impermeáveis. É importante também salientar que a sua aplicação em locais com solo arenoso favorece à infiltração, promovendo uma total drenagem da água em 72 horas ou menos, a fim de evitar a proliferação de mosquitos (City of Chicago, 2003). Para solos de baixa infiltração, recomenda-se a utilização de camada drenante com dreno, como observa-se na Figura 2.

**Figura 2** - Esquema de uma célula de biorretenção.



Fonte: Adaptado de Paus & Braskerud (2014).

### 3.3 Desempenho dos sistemas de biorretenção

A eficiência dos sistemas de biorretenção está vinculada à redução do escoamento superficial e à melhoria da qualidade água, levando-se em conta os sólidos em suspensão, nutrientes, metais pesados e coliformes fecais retidos nestas estruturas.

Na Tabela 1, apresenta-se o desempenho das práticas de biorretenção quanto aos aspectos quali-quantitativos em estudos de campo ou laboratório. Apesar do banco de dados ser reduzido, verifica-se que nos últimos 15 anos houve um aumento expressivo nas pesquisas com estas estruturas.

**Tabela 1** - Eficiência das práticas de biorretenção quanto aos aspectos quali-quantitativos.

<b>Redução/Remoção de sedimentos; nutrientes; metais pesados e bactérias patogênicas</b>	<b>Prática de biorretenção</b>	<b>remoção (%)</b>	<b>Referências Bibliográficas</b>
Sólidos em suspensão	biorretenção em estacionamentos, células de biorretenção, jardins de chuva e colunas de laboratório	54 - 99	Hsieh & Davis (2005); UNHSC (2005); USEPA (2006); Weiss, Erickson & Gulliver (2007); Blecken et al. (2007); Davis (2007); Debusk & Wynn (2011)
Zinco	biorretenção em estacionamentos, células de biorretenção, colunas de laboratório	54 - 99	Davis et al. (2003); UNHSC (2005); USEPA (2006); Davis (2007); Hatt, Fletcher & Deletic (2007); Muthanna et al. (2007); Hunt et al. (2008)
Chumbo	colunas de laboratório	83 - Mais de 90	Hatt, Fletcher & Deletic (2007); Muthanna et al. (2007)
Cobre	colunas de laboratório	60 - Mais de 90	Hatt, Fletcher & Deletic (2007); Muthanna et al. (2007)
Nitrogênio total (incluindo amônia e nitrato)	biorretenção em estacionamentos, células de biorretenção, colunas de laboratório, biovaletas	13 - 99	Kim, Seagren & Davis (2003); Davis et al. (2006); Dietz & Clausen (2006); Hunt et al. (2006); UNHSC (2005); Hsieh,

	(estacionamentos)		Davis & Needelman (2007); Davis (2007); Roy-Poirier et. al. (2010); Debusk & Wynn (2011)
Fósforo total	células de biorretenção, colunas de laboratório, jardins de chuva, biovaletas (estacionamentos)	28,1 - 99	Davis et al. (2006); Hunt et al. (2006); USEPA (2006); Davis (2007); Hsieh, Davis & Needelman (2007); Roy-Poirier et. al. (2010); DeBusk & Wynn (2011)
Hidrocarbonetos	células de biorretenção	83 - 97	Hong, Seagren & Davis (2006); Diblasi et al. (2009)
Óleos e graxas	células de biorretenção, colunas de laboratório	96 - 99	Hsieh & Davis (2005)
Coliformes fecais	célula de biorretenção, colunas de laboratório	54,5 - 99,8	Rusciano & Obropta (2007); Hunt et al. (2008)
<i>Escherichia coli</i>	célula de biorretenção	71	Hunt et al. (2008)
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	célula de biorretenção	63	Hunt et al. (2008)
Redução do escoamento superficial	biorretenções em ruas e estacionamento, biovaletas (estacionamentos), células de biorretenção	31 - 99	Hunt et al. (2006); UNHSC (2005); Hunt et al. (2008); Roy-Poirier et. al. (2010); Brown & Hunt (2011); DeBusk & Wynn (2011)

Fonte: Autores.

### 3.3.1 Os sólidos em suspensão

Observa-se nas pesquisas uma elevada eficiência das estruturas de biorretenção quanto à remoção dos sólidos em suspensão. A remoção desses materiais sólidos em suspensão é muito importante, uma vez que eles podem obstruir sistemas de drenagem urbana convencionais e provocar impactos significativos em ecossistemas aquáticos, auxiliando no carreamento de outros poluentes para os corpos hídricos (USDA, 2001).

Davis et al. (2009) apontam que os processos de sedimentação e filtração nestas estruturas são muito eficientes analisando dados de longo prazo. Conforme a Tabela 1, verifica-se a variação de valores de remoção de sólidos em suspensão, citando os trabalhos de Davis (2007) na faixa de 54 a 59%; a remoção de 85% verificada no trabalho de Weiss, Erickson & Gulliver (2007) e, por fim, a remoção de 97% relatada em (UNHSC, 2005).

### 3.3.2 A Remoção de metais pesados

As estruturas de biorretenção são eficientes na remoção de metais pesados, estejam associados às partículas ou dissolvidos (Davis et al., 2009). Há estudos que relatam a presença



nas águas pluviais de cobre, chumbo, zinco e cádmio, sendo que a redução da concentração desses materiais ocorreu de forma significativa.

Li & Davis (2008) ainda salientam que a remoção desses metais tende a ocorrer nas camadas mais superficiais da célula de biorretenção e, Roy-Poirier et al. (2010) comprovam que a camada de substrato orgânico foi responsável por remover níveis significantes de metais pesados.

Hatt, Fletcher & Deletic (2007) demonstraram o potencial desses sistemas para serem usados como método de tratamento de água para reuso em irrigação, que tem como principal objetivo a remoção de metais pesados. A remoção de zinco, cobre e chumbo superou 90%, atestando sua eficiência para tal uso.

### **3.3.3 Remoção de nutrientes**

Os resultados da eficiência quanto à remoção de nitrogênio e fósforo pelas estruturas de biorretenção é muito variável como verificado na Tabela 1. A remoção de nitrogênio é complexa e variável nas estruturas de biorretenção. Como apresentado na Tabela 1, a faixa de remoção está entre 13 e 99%. O nitrogênio orgânico é retido no meio orgânico existente, já o nitrato permanece móvel no sistema solo-água. De modo geral, estudos demonstram a remoção do nitrogênio total Kjeldahl em estudos pilotos na faixa de 55 a 65% (Davis et al., 2009). Debusk & Wynn (2011) com estudo em biovaletas, chegaram a valores de remoção de nitrogênio total de 99%.

Hsieh, Davis & Needelman (2007) comprovaram que condições favoráveis aos processos de nitrificação e desnitrificação podem ser produzidas introduzindo uma camada de solo de alta permeabilidade seguida por uma de baixa permeabilidade, impactando as condições de drenagem entre os eventos chuvosos. A eficiência da remoção de amônia em uma estrutura que cria tais condições favoráveis cresce para um intervalo de 52 a 84%, enquanto que a remoção de amônia com a disposição inversa das camadas de solo varia entre 6 a 18%.

Consoante a Tabela 1, tomando-se a remoção de fósforo total, os valores podem variar de 28,1 % (USEPA, 2006) a valores de 99 % obtidos por Debusk & Wynn (2011). Roy-Poirier et al. (2010) explicam que a retenção de fósforo é inversamente proporcional à quantidade inicial existente no solo, uma vez que solos com altas concentrações de fósforo tendem a ter uma capacidade de adsorção menor, com valores próximos à saturação.

Os mesmos autores destacam ainda que a remoção de nutrientes tende a cair de acordo com o aumento do escoamento na célula de biorretenção, confirmando assim o seu baixo rendimento neste aspecto, sob situações de eventos chuvosos mais severos.

### **3.3.4 Hidrocarbonetos, óleos e graxa**

Os sistemas de biorretenção são comumente instalados ao lado de superfícies impermeáveis como estacionamento, ruas, avenidas ou rodovias. Logo, os projetistas estão interessados no potencial de remoção de poluentes provenientes das emissões dos veículos, em especial óleos e graxas, assim como metais pesados (USEPA, 1999).

Alguns estudos apontam uma alta remoção de óleo de motores além de hidrocarbonetos como tolueno e naftaleno presentes no escoamento superficial, por camada orgânica de folhas conforme relatam Hong, Seagren & Davis (2006).

Dentre os hidrocarbonetos, Diblasi, Davis & Ghsh (2009) verificaram ainda, a remoção de aproximadamente 90% de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), considerados pela Agência Ambiental Norte-Americana (USEPA) como um dos principais poluentes que devem ser removidos dos escoamentos pluviais. A presença de bactérias nativas na camada orgânica conduz à remoção de hidrocarbonetos podendo degradá-los em poucos dias (Davis et al., 2009).

### **3.3.5 Bactérias patogênicas e DBO**

Coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* foram reduzidos pela utilização de biorretenção como apontam Hunt, Smith, Jadlocki & Hathaway (2008). Nos estudos conduzidos por estes autores, os valores obtidos foram de 70%. Trabalhos conduzidos em laboratório por Rusciano & Obropta (2007) resultaram em remoções de coliformes fecais variando de 54,5 a 99,8%. Há que se ressaltar também que, apesar da variação apresentada, a maioria dos testes apresentou uma remoção de 98% dos coliformes fecais presentes na água. Sobre a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Hunt et al. (2008) obtiveram em célula de biorretenção, a remoção de 63%.

### **3.3.6 Redução do escoamento superficial**

Embora a função precípua dos sistemas de biorretenção esteja vinculada à melhoria da qualidade das águas pluviais por meio da retenção e infiltração, alguns estudos têm verificado

a possibilidade do controle de vazões de pico e também a proteção de canais, como apresentado na Tabela 1.

Os valores dispostos na literatura remetem à utilização de biovaletas em estacionamentos, biorretenções em ruas e estacionamentos e células de biorretenção com a faixa de redução do escoamento de 31 a 99% (Hunt, Jarret, Smith & Sharkey, 2006; UNHSC, 2005; Hunt et al., 2008; Roy-Poirier et al., 2010; Brown & Hunt, 2011; Debusk & Wynn, 2011). Dentre os benefícios apontados por essas estruturas citam-se: a redução dos picos de até 90% para pequenos eventos de chuva, aumento nos tempos de retardo e manutenção das condições hidrológicas de pré-desenvolvimento.

### **3.4 Limitações e deficiências**

Paus & Braskerud (2014) relatam algumas limitações para os sistemas de biorretenção, a saber: a demanda por áreas maiores que a drenagem convencional; a necessidade de drenos e a substituição de solo quando da existência para solos argilosos e a devida manutenção.

Consoante Moura (2013), os sistemas de biorretenção podem ter seu desempenho reduzido por questões locais como: lençol freático raso, leito de rochas superficial, solo colapsível e terrenos muito inclinados. Sob este enfoque, Righetto, Gomes & Freitas (2009) corroboram a vulnerabilidade destas estruturas à colmatagem do solo por depósito de sedimentos, reduzindo a capacidade de atenuação do escoamento superficial como observado também por Line, Brown, Hunt, Asce & Lord (2012). Tal fato fora apontado por Daniel Júnior (2013), em seu trabalho avaliando uma biorretenção (trincheira mista) executada na cidade de Santa Maria-RS. O referido autor verificou a colmatagem após a análise de seis eventos de chuva e obtenção da infiltração pelo ajuste do modelo de Horton.

Ademais, outra preocupação verificada em estudos que discutem as limitações das técnicas BMP, diz respeito aos eventos extremos, que são os cenários esperados devido às mudanças climáticas, reduzindo significativamente a capacidade de retenção do escoamento. Eckart et al. (2017) reforçam este ponto, ao destacar os fatores que afetam as soluções de baixo impacto, como as biorretenções. Além dos fatores locais como tipo de solo e plantas, os padrões de chuva e as mudanças climáticas têm sérias implicações sobre o desempenho destas estruturas.

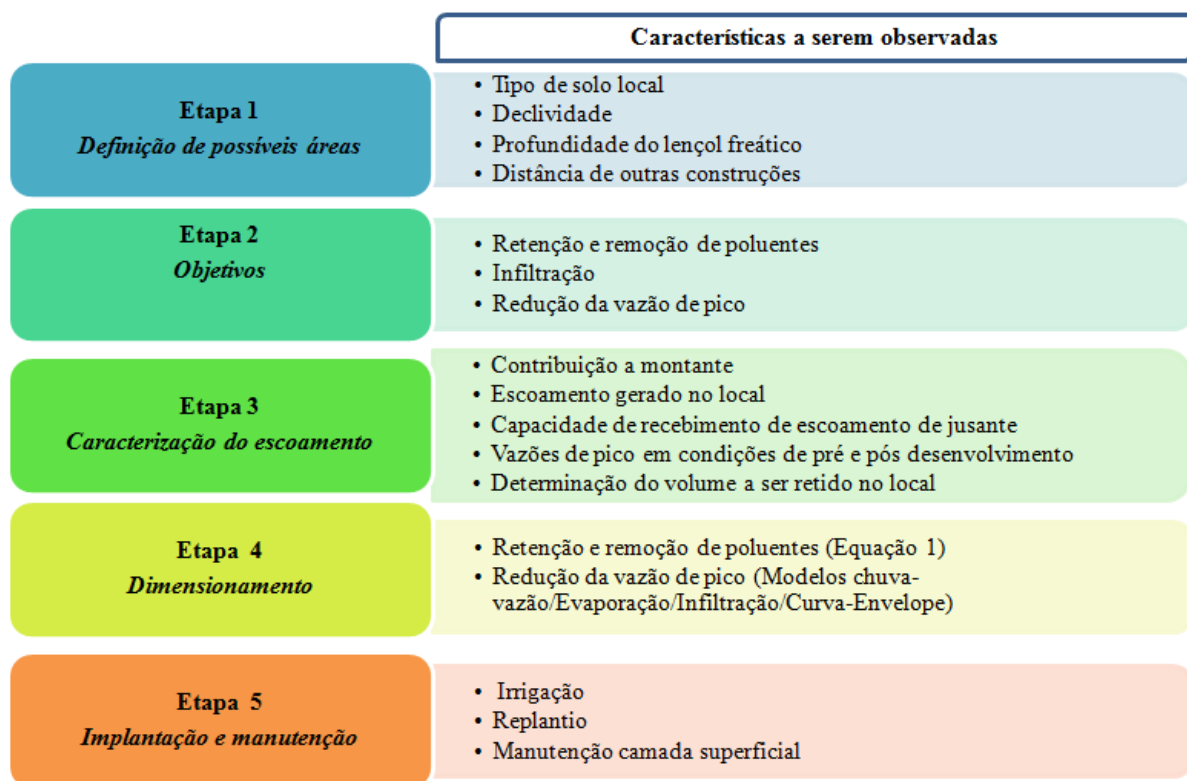
### 3.5 Objetivos dos sistemas de biorretenção, critérios de projeto e dimensionamento

No planejamento de novos empreendimentos, a permeabilidade do solo, a declividade e a profundidade do lençol freático devem ser consideradas durante a escolha do tipo de biorretenção, bem como os objetivos a serem alcançados (Vermont, 2002; Virginia, 2009; Idaho, 2005; Minnesota, 2008).

Na maioria dos casos, a célula de biorretenção é projetada para alcançar dois objetivos principais (NCDENR, 2009): remover uma determinada quantidade de poluentes e/ou reter um determinado volume de escoamento durante eventos chuvosos.

Na Figura 3, apresenta-se um roteiro de etapas a serem seguidas para o projeto de um sistema de biorretenção, baseado em alguns manuais norte-americanos (Vermont, 2002; Virginia, 2009; Idaho, 2005; Minnesota, 2008).

**Figura 3** - Etapas para o planejamento da implantação de sistemas de biorretenção.



Fonte: Autores.

Conforme Graciosa, Mendiondo & Chaudhry (2008), os métodos para o dimensionamento de sistemas de biorretenção como as trincheiras, baseiam-se no balanço hídrico no interior da estrutura; sendo o volume de armazenamento interno calculado pela diferença entre o volume de entrada e saída.

Os volumes de entrada podem ser calculados pelo Método Racional ou Método do SCS denominado também Método da Curva Número ou Método TR-55 (NRCS Technical Release 55). Para maiores detalhes acerca dos métodos de estimativa dos volumes de entrada, consultar Costa, Siqueira & Menezes Filho (2007) e NRCS (1986). Os volumes de saída podem ser contabilizados pela utilização de modelos de evapotranspiração (p.e, Thornthwaite) e infiltração (Philip, Horton, Kostikov, Green-Ampt e Richards).

No Brasil, há ainda a utilização de um método mais simples denominado de Método da Curva Envelope ou Método das Chuvas (*rain-envelope method*) (Baptista et al., 2011; Porto Alegre, 2005) utilizado em alguns trabalhos como de Daniel Júnior (2013) e Cadore (2016). Utilizando dados de caracterização da região de implantação e da equação IDF (intensidade-duração-frequência) para o local, constrói-se a curva das lâminas precipitadas versus as vazões específicas de saída ao longo do tempo, determinando-se o volume máximo a ser armazenado pela estrutura.

Considerando a abordagem adotada em alguns manuais norte-americanos (Vermont, 2002; Virginia, 2009; Idaho, 2005; Minnesota, 2008), o tratamento das águas pluviais, dar-se-á pela captura dos eventos frequentes de chuva anuais, conhecida como a Regra dos 90%; determinando-se a precipitação  $P_{90}$  como o quantil correspondente ao valor 0,9 da curva de frequências acumuladas.

Assim, o volume de retenção necessário ao tratamento da qualidade das águas pluviais, considerando-se ainda a existência de diversas subáreas com distintos usos do solo, é calculado pela Equação 1:

$$V_t = \frac{P_{90}}{1000} \left[ \sum_{i=1}^n \left( C_n \frac{A_n}{A_t} \right) A_t \right] \quad (1)$$

onde:

$V_t$ : volume requerido pela biorretenção ( $m^3$ );

$P_{90}$ : precipitação (mm) com frequência 0,9 de não excedência (mm);

$C_n$ : coeficiente de escoamento superficial (*runoff*) referente ao uso do solo "n";

$A_n$ : área referente ao uso do solo "n" ( $m^2$ );

$A_t$ : área total ( $m^2$ ).

Não menos importante, para a análise do desempenho destas estruturas, tem-se o software livre RECARGA (WDNR, 2012), elaborado pela University of Wisconsin, disponível no link <https://dnr.wi.gov/topic/stormwater/standards/recarga.html>. O RECARGA permite a avaliação de biorretenções com superfície de alagamento, três camadas de solo e

opções com drenos, podendo modelar condições específicas definidas pelo usuário acerca da precipitação e infiltração.

Além disso, para o planejamento da implantação de sistemas de biorretenção; outros fatores também são de extrema importância para o êxito da utilização destas estruturas; a saber: área contribuinte de drenagem, pré-tratamento, profundidade de alagamento, composição e profundidade do meio filtrante, projetos de drenos profundos e extravasamento, vegetação e manutenção.

### 3.6 Área contribuinte de drenagem

O guia desenvolvido pelo Condado de Prince George (PGC, 2007) recomenda que a área contribuinte seja de no máximo 0,8 ha ou 8000 m<sup>2</sup>. Tal restrição, deve-se ao fato de que maiores áreas contribuintes ocasionarão maiores volumes de escoamento superficial direcionados às estruturas, possibilitando erosões e acúmulo de águas com o risco da proliferação de mosquitos (Paus & Braskerud, 2014).

Christensen & Schmidt (2008) e Li & Zhao (2008) apud Melo, Coutinho & Cabral (2015) relatam que o projeto pode ser realizado pontualmente, coletando águas pluviais de áreas pequenas, sendo o sistema de biorretenção dimensionado numa proporção de 5% a 20% da área impermeável contribuinte. Tal limite superior pode ser menor como 15% da área de bacia contribuinte, como definido por Minnesota (2008).

Paus & Braskerud (2014) afirmam que tal faixa de valores para a definição de área pode ser considerada conservativa e, considerando que a precipitação seja relativamente constante em uma certa duração, os autores consideram: o total volume de água que uma célula de biorretenção pode manejar é igual ao volume de água que pode (1) ser armazenado na superfície e (2) ser infiltrado durante a duração da chuva.

Deste modo, a área necessária para a célula da biorretenção pode ser expressa pela Equação 2 (Paus & Braskerud, 2014):

$$A_{br} = \frac{A.C.P}{h_{m\acute{a}x} + K_{sat}.t} \quad (2)$$

onde:

A<sub>br</sub>: área superficial da célula de biorretenção (m<sup>2</sup>);

A: área da bacia contribuinte (m<sup>2</sup>);

C: coeficiente de escoamento superficial (*runoff*);

P: precipitação (m);

$h_{m\acute{a}x}$ : máxima profundidade de água (m);

$K_{sat}$ : condutividade hidráulica saturada do meio de biorretenção (m/h);

t: duração da chuva (h);

A Equação 2 permite considerar além da lâmina armazenada superficialmente em função da precipitação assumida, área e uso do solo, a parte infiltrada pela consideração da condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ). A precipitação nesta equação pode variar em função das estratégias assumidas pela célula da biorretenção. Para a remoção de poluentes, tal precipitação será a  $P_{90}$ , citada na Equação 1; garantindo-se a coleta e infiltração do escoamento superficial para pequenos eventos de chuva. Para eventos moderados ou para a avaliação segura de grandes eventos, a precipitação (mm) e a duração da chuva (h) deverão ser decididas localmente (Lindholm et al., 2008 apud Paus & Braskerud, 2014).

### 3.7 Medidas de Pré-tratamento

Segundo Davis et al. (2009), algumas normas recomendam um pré-tratamento da água antes do deságue nos sistemas de biorretenção, recomendando que sejam colocadas camadas de filtros horizontais (áreas plantadas com gramas) com larguras de 1,0 a 1,5 m ou de 3,0 a 6,0 metros. No entanto, há vários registros de células de biorretenção que funcionam perfeitamente sem fazer o uso desses sistemas de pré-tratamento. Uma camada de filtros projetada e sob manutenção adequada, tende a remover 70% a 95% dos sólidos suspensos totais e metais pesados como cádmio e chumbo, além de 25% a 65% de nutrientes como fósforo, nitrogênio e DBO (City of Chicago, 2003).

Outro pré-tratamento, útil e muito importante, é fazer o uso de mantas geotêxteis para conter o substrato orgânico durante os momentos em que a célula de biorretenção estiver alagada, uma vez que este material tende a ficar suspenso podendo ser carregado, caso ocorra extravasamento (Prince George's County, 2007).

### 3.8 A profundidade de alagamento

A profundidade de alagamento dependerá da taxa de infiltração do meio poroso e da taxa de infiltração do subsolo. Conforme Clar & Green (1993) apud Davis et al. (2009), a profundidade requerida inicial de 0,15 m baseia-se no uso de meios porosos com taxas de

infiltração de 1,3 a 5,1 cm/h e taxa de infiltração do subsolo de 0,5 cm/h com a meta de infiltrar 60 cm em 48 horas. Já no estado norte-americano de Maryland, em seu manual de projeto e gestão de águas pluviais (MDE, 2000) e, no estado da Carolina do Norte (NCDERN, 2007), a profundidade de alagamento permitida é de 30 cm e utiliza-se a biorretenção como filtro e/ou dispositivo de infiltração. Para jardins de chuva, a profundidade máxima de alagamento pode ser de até 45 cm como aponta Gomez (2016).

### 3.9 O meio filtrante, o solo e a profundidade

Um sistema de biorretenção é geralmente composto por uma mistura de solo, contendo basicamente areia, materiais finos (argila e silte), e compostos orgânicos como folhas e substrato (Debus & Wynn, 2011). A composição do solo é primordial para o bom funcionamento da estrutura de biorretenção, influenciando o crescimento da vegetação e a remoção de poluentes na água (Davis et al., 2009; Paus e Braskerud, 2014).

Na Tabela 2, estão algumas recomendações quanto à composição do solo.

**Tabela 2.** Composição do solo recomendada por diferentes estados norte-americanos.

Componente de solo	Pré-especificação (2005) (USDA areia argilosa) Carolina do Norte <sup>1</sup>	Especificação atual (Carolina do Norte, 2009) <sup>1</sup>	Prince George's (Maryland) <sup>2</sup>	Estado de Delaware <sup>3</sup>
Areia	43-50%	85 - 88%	50%	33%
Finos (argila e silte)	<50% silte, <7% argila	8 - 12%	30%	33%
Matéria orgânica	-	3 - 5%	20%	33%
Permeabilidade	2,5 - 15 cm/h	2,5 - 15 <sup>5</sup> cm/h	-	-

Fonte: Adaptado de Wardynski et al., (2012); <sup>1</sup> NCDERN (2009); <sup>2</sup>PGC (2007); <sup>3</sup>DNREC (2005).

Apesar das referências apresentadas, determinar a composição ótima do solo em um sistema de biorretenção é um problema complexo a ser resolvido, pois apesar das diferentes recomendações apresentadas na Tabela 2, a composição do sistema irá depender diretamente do objetivo principal da célula de biorretenção. Segundo Hunt & Brown (2011), o solo com uma alta composição de finos deve ter uma menor redução do escoamento, uma vez que sua permeabilidade tende a ser menor. Todavia, os mesmos autores afirmam que solos muito arenosos podem não trazer o tratamento adequado quanto à alguns poluentes. Neste sentido, o



volume do meio filtrante proporcional à área de drenagem é um fator de controle para redução do escoamento superficial.

De acordo com o manual da Agência Ambiental Norte-Americana (USEPA, 1999), a profundidade mínima inicial dos sistemas de biorretenção recomendada é de 1,20 m. Contudo, já se utilizam sistemas menos profundos, com profundidade entre 0,60 e 1,20 m. A maioria dos poluentes são removidos nos primeiros 60 cm de solo, e escavações mais profundas vão tornando as estruturas mais onerosas. A vegetação, que se deseja utilizar, também deve ser analisada na determinação da profundidade. Quando a vegetação é rasteira, 60 cm de profundidade são suficientes. Por outro lado, quando se faz uso de plantas de maior porte, a célula deve ter no mínimo 90 cm de profundidade, para garantir a estabilidade da vegetação (NCDERN, 2009).

Em suma, a escolha de uma mistura de solo e profundidade adequadas dependem da capacidade para suportar e sustentar a vegetação; da capacidade para infiltrar a água alagada em 24 horas; da capacidade para remover a carga de poluentes; do ciclo de vida e durabilidade do meio e do custo da mistura de solo (Davis et al., 2009).

### **3.10 Drenos profundos**

Conforme o manual do estado da Carolina do Norte (NCDERN, 2007), o uso de drenos subterrâneos é recomendado quando a capacidade de infiltração do solo é inferior a 5 cm/h. Quando se deseja interligar sistemas de biorretenção, o uso de drenos subterrâneos também pode ser utilizado. Embora ainda existam muitas questões sobre a necessidade de utilização ou não de drenos subterrâneos, o manual do Condado de Prince George (PGC, 2007) recomenda que eles sejam utilizados em todos os tipos de células de biorretenção. Gómez (2016) aponta que para solos com baixa taxa de infiltração, drenos com no mínimo 100 mm de diâmetro são necessários e deverão ser instalados em uma camada drenante de 30 cm.

### **3.11 Vegetação e manutenção das estruturas de biorretenção**

A escolha da vegetação é um parâmetro muito importante na construção do projeto de um sistema de biorretenção. Segundo Henderson, Greenway & Phillips (2007) ao compararem sistemas de biorretenção com e sem vegetação, notou-se que houve uma lixiviação dos nutrientes (Nitrogênio e Fósforo) em sistemas sem cobertura vegetal, enquanto

que nos sistemas com vegetação superficial, a lixiviação ocorreu, mas de forma muito menos significativa, atestando assim a importância de se escolher uma vegetação adequada e mantê-la nas células de biorretenção.

Wardynski & Hunt (2012) também verificaram a importância da vegetação, uma vez que ela garante que a permeabilidade dos solos predominantemente finos, possuam valores maiores, próximos aos valores de solos arenosos, devido a abertura de macroporos pelo crescimento das raízes da vegetação, e devido à interação com organismos invertebrados, mais presentes em solos mais finos, que também são responsáveis por abrir poros no solo. Quanto à manutenção, estudos de laboratório e de campo indicam que os sedimentos e os metais pesados acumulam somente nos 5 a 10 cm do topo do meio filtrante de maneira que sua retirada e reposição podem também renovar a qualidade da água (Li & Davis, 2008). Portanto, para manter a vida útil do sistema em condições de utilização de acordo com o projetado, recomenda-se a substituição anual ou bianual da camada de solo mais superficial (de 5 a 20 cm de profundidade). Outro aspecto importante é a participação popular na manutenção dos sistemas de biorretenção. Em países tropicais como o Brasil, tal preocupação quanto à manutenção seria priorizada visto os surtos de dengue e febre amarela que acometem a população, em diversas regiões do país. Na Tabela 3 apresenta-se um resumo sintético dos pontos apresentados nessa revisão, a fim de orientar projetos futuros.

**Tabela 3** - Resumo sintético das orientações para projetos de sistemas de biorretenção.

Característica/Parâmetro	Valores adotados/Referência	Dependência/Observação
<i>Análise preliminar</i>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Verificação do tipo de solo natural</li> <li>✓ Permeabilidade do solo natural</li> <li>✓ Profundidade do lençol freático</li> <li>✓ Distância mínima de 3 m para edifícios</li> </ul>
<i>Volume de retenção para tratamento da qualidade</i>	Equação 1 (item 3)	O tratamento dar-se-á pela captura dos eventos frequentes de chuva, representado pela P <sub>90</sub>
<i>Objetivo do sistema</i>	Controle qualitativo, quantitativo ou ambos	Analisar o local de inserção da célula, e determinar qual a prioridade do sistema
<i>Composição do solo</i>	Tabela 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Depende do uso requerido (controle qualitativo; controle quantitativo ou ambos)</li> <li>✓ Capacidade para suportar e sustentar a vegetação</li> <li>✓ Capacidade para infiltrar a água alagada em função do tempo</li> <li>✓ Capacidade para remover a carga de poluentes</li> <li>✓ Ciclo de vida e durabilidade do meio</li> </ul>

		✓ Custo
<i>Área contribuinte</i>	$A \leq 8.000 \text{ m}^2$	Áreas superiores incidirão em maiores volumes com a possibilidade de erosão ou acúmulo de águas paradas (proliferação de mosquitos)
<i>Área da estrutura</i>	✓ 5 a 20 % da área impermeável contribuinte ✓ Equação 2 (item 3.1)	A Equação 2 considera tanto a lâmina armazenada quanto a infiltração da água no solo.
<i>Profundidade da estrutura</i>	0,60 a 1,20 m	Vegetação inserida influirá na profundidade.
<i>Profundidade da lâmina de alagamento</i>	✓ 0,15 a 0,30 m ✓ até 0,45 m (jardins de chuva)	Taxas de infiltração do meio poroso e do subsolo
<i>Infiltração total</i>	72 horas	Caso não ocorra infiltração total em 72 horas, redimensionar a célula para atender este requisito
<i>Pré-tratamento</i>	✓ Mantas de geotêxtil ✓ Filtros de larguras (1,0 a 1,5 m ou 3,0 a 6,0)	Depende do local de instalação, podendo ser dispensado
<i>Drenos profundos</i>	-	Recomenda-se a utilização para interligação de células ou para solos com taxa de infiltração inferior a 5 cm/h

Fonte: Autores.

### 3.12 Exemplos de aplicações no Brasil

Apesar do assunto ser tratado em reduzida literatura, existem exemplos de aplicações destes sistemas em universidades brasileiras com a finalidade de avaliar o desempenho de tais sistemas sob diversos eventos chuvosos.

Moura (2013), através da construção do sistema conforme Figura 4a, na Universidade de São Paulo, concluiu que a biorretenção, constitui uma alternativa técnica e paisagística viável para auxiliar as estruturas de drenagem convencionais no manejo das águas pluviais, tanto em aspectos quantitativos na redução de vazões de pico, quanto na questão qualitativa considerando a poluição difusa. O mesmo autor relata a vantagem com relação às grandes lagoas pluviais, seja pela fácil remoção dos resíduos sólidos carregados após os eventos chuvosos, evitando o acúmulo de lixo em larga escala, o aparecimento de insetos, vetores de doenças e mau cheiro. No referido sistema as células de biorretenção se comunicam possibilitando que o extravasamento do escoamento superficial se direcione para a célula adjacente (Figura 4a).

Melo et al. (2015) também avaliaram o desempenho de um sistema de biorretenção na Universidade Federal de Pernambuco, em Recife, projetando um jardim de chuva com a composição do meio filtrante e os materiais utilizados dispostos na figura 4b. A área de alagamento do jardim fora igual a 5% da área total de contribuição, em consonância com as diretrizes de dimensionamento apresentadas no item 3.6 deste trabalho.

Tal sistema teve como objeto de estudo, a redução do escoamento pluvial, e obteve bons resultados, principalmente com relação à infiltração da água, onde 100% das alturas precipitadas foram infiltradas.

**Figura 4** - Exemplos de aplicação de sistemas de biorretenção no Brasil.



(a)



(b)

Fonte: (a) adaptado de MOURA, 2013; (b) adaptado de MELO et al. (2015).

#### 4. Considerações Finais

Os sistemas de biorretenção têm eficiência comprovada através de vários estudos abordados neste trabalho. Devem ser utilizadas como alternativas aos sistemas clássicos de drenagem no intuito de resgatar as condições de pré-urbanização.

Apesar dos trabalhos serem, em sua maioria, realizados em países desenvolvidos e de clima temperado, os critérios apresentados neste artigo podem servir como diretrizes iniciais para projetos dos referidos sistemas, guardando as devidas proporções em um país continental como o Brasil; com diversos regimes climáticos e diferenciados regimes pluviométricos.

Destarte, verifica-se a necessidade precípua de estudos regionais em escala piloto de sistemas de biorretenção, que subsidiarão bancos de dados com informações de projeto e eficiência peculiares à realidade nacional.

Sugere-se para trabalhos futuros, a análise do desempenho dos sistemas de biorretenção no ambiente urbano brasileiro, preferencialmente em pontos estratégicos a montante de áreas sujeitas à inundações, verificando-se inicialmente a eficiência destes sistemas na redução do escoamento e, de maneira gradual e progressiva, à análise sobre os aspectos qualitativos, conforme fora pesquisado pelos diversos autores citados neste trabalho.

## Referências

Baptista, M., Nascimento, N., & Barraud, S. (2005). *Técnicas compensatórias de drenagem urbana*. ABRH, Porto Alegre.

Blecken, G. T., Zinger, Y., Muthanna, T. M., Deletic, A., Fletcher, T. D., & Viklander, M. (2007). The influence of temperature on nutrient treatment efficiency in stormwater biofilter systems. *Water Science & Technology*. 56(10), 83–91.

Brown, R. A., & Hunt, W. F. (2011). Impacts of Media Depth on Effluent Water Quality and Hydrologic Performance of Undersized Bioretention Cells. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 137(3), 132–143.

Cadore, R. C. (2016). *Critérios de dimensionamento de biorretenções*. Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria . Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.. 116p.

CNT. Center for Neighborhood Technology. (2010). *The Value of Green Infrastructure – A guide to recognizing its economic, environmental and social benefits*. Recuperado de <http://www.cnt.org/repository/gi-values-guide.pdf>.

CIRIA. (2015). *The SUDS manual*. Department of Environment Food & Rural Affairs. London. 968 p. Recuperado de <http://www.scotsnet.org.uk/documents/NRDG/CIRIA-report-C753-the-SuDS-manual-v6.pdf>.

City of Chicago. (2003). *A guide to stormwater best management practices*. Chicago, Estados Unidos. 29 p. Recuperado de <https://www.cityofchicago.org/dam/city/depts/doe/ge>

neral/NaturalResourcesAndWaterConservation\_PDFs/Water/guideToStormwaterBMP.pdf.  
Acessado em 2017.

Cormier, N. S., & Pellegrino, P. R. M. (2008). Infra-estrutura Verde: uma estratégia paisaística para a água urbana. *Paisagem Ambiente: ensaios*. (25), 127–142.

Costa, A. R., Siqueira, E. Q., & Menezes Filho, F. C. M. de. (2007). *Curso básico de hidrologia urbana: nível 3*. Brasília: ReCESA. 130 p.

Daniel Júnior, J. J. (2013). *Avaliação de uma biorretenção como estrutura sustentável de drenagem urbana*. Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 115 p.

Davis, A. P., Shokouhian, M., Sharma, H., Minami, C., & Winogradoff, D. (2003). Water Quality Improvement through Bioretention: Lead, Copper, and Zinc Removal. *Water Environment Research*. 75(1), 73–82.

Davis, A. P. (2007). Field Performance of Bioretention: Water Quality. *Environmental Engineering Science*. 24(8), 1048–1064.

Davis, A. P., Hunt, W. F., Traver, R. G., & Clar, M. (2009). Bioretention Technology: Overview of Current Practice and Future Needs. *Journal of Environmental Engineering*. 135(3), 109–117.

Debusk, K. M., & Wynn, T. M. (2011). Storm-Water Bioretention for Runoff Quality and Quantity Mitigation. *Journal of Environmental Engineering*, 137(9), 800–808.

Diblasi, C. J., Li, H., Davis, A. P., & Ghosh, U. (2009). Removal and fate of polycyclic aromatic hydrocarbon pollutants in an urban stormwater bioretention facility. *Environmental Science and Technology*. 43(2), 494–502.

Dietz, M. E., & Clausen, J. C. (2006). Saturation to improve pollutant retention in a rain garden. *Environmental Science and Technology*. 40(4), 1335–1340.

Eckart, K., Mcphee, Z., & Bolisetti, T. (2017). Performance and implementation of low impact development – A review. *Science of the Total Environment*. 607–608, 413–432. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.254>.

Gomez, J. F. J. (2018). *Raingarden hydraulic conditions and functioning under variable precipitation scenarios*. Master Thesis. Norwegian University of Life Sciences. 2016. Recuperado de <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2398819>.

Graciosa, M. C. P., Mendiondo, E. M., & Chaudhry, F. H. (2008). Metodologia para o Dimensionamento de Trincheiras de Infiltração para o Controle do Escoamento Superficial na Origem. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. 13, 207–214.

Hatt, B. E., Fletcher, T. D., & Deletic, A. (2007). Treatment performance of gravel filter media: Implications for design and application of stormwater infiltration systems. *Water Research*. 41(12), 2513–2524.

Henderson, C., Greenway, M., & Phillips, I. (2007). Removal of dissolved nitrogen, phosphorous and carbon from stormwater by biofiltration mesocosms. *Water Science and Technology*. 55(4), 183–191.

Hong, E., Seagren, E. A., & Davis, A. P. (2006). Sustainable Oil and Grease Removal from Synthetic Stormwater Runoff Using Bench-Scale Bioretention Studies. *Water Environment Research*. 78(2), 141–155.

Hsieh, C., Davis, A. P., & Needelman, B. A. (2007). Bioretention Column Studies of Phosphorus Removal from Urban Stormwater Runoff. *Water Environment Research*. 79(2), 177–184.

Hsieh, C. H., & Davis, A. P. (2005). Multiple-event study of bioretention for treatment of urban storm water runoff. *Water Science and Technology*. 51(3–4), 177–181.

Hunt, W. F., Jarret, A. R., Smith, J. T.; & Sharkey, L. J. (2006). Evaluating Bioretention Hydrology and Nutrient Removal at Three Field Sites in North Carolina. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 132(6), 600–608.

Hunt, W. F., Smith, J. T., Jadlocki, S. J., Hathaway, J. M., & Eubanks, P. R. (2008). Pollutant Removal and Peak Flow Mitigation by a Bioretention Cell in Urban Charlotte, N.C. *Journal of Environmental Engineering*. 134(5), 403–408.

Idaho. (2005). *Catalog of Stormwater Best Management Practices for Idaho Cities and Counties*. Idaho Department of Environmental Quality. Recuperado de <http://www.deq.idaho.gov/media/622263-Stormwater.pdf>.

Kim, H., Seagren, E. A., & Davis, A. P. (2003). Engineered Bioretention for Removal of Nitrate from Stormwater Runoff. *Water Environment Research*. 75(4), 355–367.

Lakatos, E. M., & Marconi, M. A. *Fundamentos de metodologia científica*. (2017). (8a. ed.), São Paulo: Atlas.

Li, H., Davis, A. P. (2008). Urban particle capture in bioretention media I: Laboratory and field studies. *Journal of environmental engineering*. 134(6), 409-4018.

Line, D. E., Brown, R. A., Hunt, W. F., Asce, M., & Lord, W. G. (2012). Effectiveness of LID for Commercial Development in North Carolina. *Journal of Environmental Engineering*. 680–689.

Menezes Filho, F. C. M., & Ribeiro da Costa, A. (2012). Sistemática de Cálculo para o Dimensionamento de Galerias de Águas Pluviais: uma Abordagem Alternativa. *REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil*. 4(1), 12–22.

Melo, T. A. T., Coutinho, A. P., Cabral, J. J. S. P., Antonino, A. C. D.; & Cirilo, J. A. (2014). Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. *Ambiente Construído*. Porto Alegre, 14(4), 147-165.

Melo, T. A. T., Coutinho, A. P., & Cabral, J. J. S. P. (2015). *Manejo de águas pluviais através de um sistema de biorretenção*. In: XXI Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos. Brasília.



Miguez, M. G., Veról, A. P; & Rezende, O. M. (2016). *Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade*. Rio de Janeiro: Elsevier.

Minnesota. (2017). *The Minnesota Stormwater Manual – version 2*. Minnesota Pollution Control Agency, January 2008. Recuperado de <http://www.capitolregionwd.org/wp-content/uploads/2012/09/MNStormwaterManual.pdf>.

Moura, N. C. B. (2013). *Biorretenção - Tecnologia ambiental urbana para manejo das águas de chuva*. Tese (Doutorado em arquitetura). Universidade de São Paulo. 299 p.

Muthanna, T. M., Viklander, M., Blecken, G., & Thorolfsson, S. T. (2007). Snowmelt pollutant removal in bioretention areas. *Water Research*. 41(18), 4061–4072.

North Carolina Department of Environment and Natural Resources (NCDENR). (2009). *NCDENR Stormwater BMP Manual*. Carolina do Norte, EUA. Recuperado de <https://deq.nc.gov/about/divisions/energy-mineral-land-resources/energy-mineral-land-permit-guidance/stormwater-bmp-manual>.

NRCS. (1986). *Urban Hydrology for Small Watersheds TR-55*. USDA Natural Resource Conservation Service Conservation Engineering Division Technical Release 55.

Paus, K., & Braskerud, B. (2014). Suggestions for Designing and Constructing Bioretention Cells for a Nordic Climate. *Journal of Water Management and Research*. 70, 139-150.

Porto Alegre. (2005). Prefeitura Municipal. Departamento de Esgotos Pluviais, DEP. *Plano Diretor de Drenagem Urbana - Manual de Drenagem, vol. VI*. IPH/UFRGS.

Prince George's County, Maryland – Department of Environmental Resources. (2007). *Bioretention Manual*. Prince george's county, Maryland, 206 p. Recuperado de [http://www.ct.gov/deep/lib/deep/p2/raingardens/bioretention\\_manual\\_2009\\_version.pdf](http://www.ct.gov/deep/lib/deep/p2/raingardens/bioretention_manual_2009_version.pdf).

Righetto, A. M., Gomes, K. M., & Freitas, F. R. S. (2017). Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. 22(6), 1109-1120.

Roy-Poirier, A., Champagne, P., & Filion, Y. (2010). Review of Bioretention system research and design: Past, presente and future. *Journal of environmental engineering*. 136(9), 878-889.

Rusciano, G. N., & Obropta, C. C. (2007). Bioretention column study: Fecal coliform and total suspended solids reductions. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 504, 1261-1269.

Silveira, A. L. L. da. (1998). Hidrologia urbana no Brasil. In: Braga, B. P. F; Tucci, C. E. M; Tozzi, M. *Drenagem urbana: gerenciamento, simulação, controle*. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, p.8-25.

Tucci, C. E. (2007). *Inundações Urbanas*. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 11. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 393 p.

UNHSC. University of New Hampshire Stormwater Center. (2005). *Data Report*. Recuperado de [https://www.unh.edu/unhsc/sites/unh.edu.unhsc/files/pubs\\_specs\\_info/annual\\_data\\_report\\_06.pdf](https://www.unh.edu/unhsc/sites/unh.edu.unhsc/files/pubs_specs_info/annual_data_report_06.pdf).

United States Department of Agriculture (USDA). (2001) *Stream corridor restoration*. Federal Interagency stream restoration working group. EUA. 637 p.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). (1999). *Preliminary data summary of urban storm water best management practices*. Washington, EUA. 214 p.

Vermont. (2002). *The Vermont Stormwater Management Manual – Volume II – Technical Guidance*. Vermont Agency of Natural Resources. Recuperado de [http://dec.vermont.gov/sites/dec/files/wsm/stormwater/docs/Resources/sw\\_manual-vol2.pdf](http://dec.vermont.gov/sites/dec/files/wsm/stormwater/docs/Resources/sw_manual-vol2.pdf).

Virginia. (2009). *Virginia Stormwater Management Handbook - Chapter 10 – Uniform Stormwater BMP Sizing Criteria*. Virginia. Recuperado de [http://www.deq.virginia.gov/fileshare/wps/2013\\_SWM\\_Handbook/Chapter%2010/](http://www.deq.virginia.gov/fileshare/wps/2013_SWM_Handbook/Chapter%2010/).

Wardynski, B. J., & Hunt, W. F. (2002). Are Bioretention Cells Being Installed Per Design Standards in North Carolina? A Field Study. *Journal of environmental engineering*. 138(12), 1210-1217.

Weiss, P. T., Erickson, A. J., & Gulliver, J. S. (2007). Cost and Pollutant Removal of Storm-Water Treatment Practices. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 133(3), 218–229.

Wisconsin Department of Natural Resources (WDNR). (2017). *Recarga Model 2.3. Infiltration Basins, Bioretention Devices*. Recuperado de <https://dnr.wi.gov/topic/stormwater/standards/recarga.html>.

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Lucas Humberto Silva – 40%

Frederico Carlos Martins de Menezes Filho – 30%

Ana Luiza Melo Rodrigues – 20%

Eduardo Beraldo de Moraes – 10%