

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS
E SANEAMENTO



Gedson Silva Cunha

**Efeitos da utilização de biorretenção em uma área urbana:
análises quantitativas em função do código de urbanismo e
edificações de Maceió-AL**

Maceió
2019

Gedson Silva Cunha

**Efeitos da utilização de biorretenção em uma área urbana:
análises quantitativas em função do código de urbanismo e
edificações de Maceió-AL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza

Maceió
2019

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale – CRB4 - 661

C972e Cunha, Gedson Silva.

Efeitos da utilização de biorretenção em uma área urbana : análises quantitativas em função do código de urbanismo e edificações de Maceió-AL / Gedson Silva Cunha. – 2019.

72 f. : il. color.

Orientador: Vladimir Caramori Borges de Souza.

Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2019.

Bibliografia: f. 68-72.

1. Drenagem urbana. 2. Controle do escoamento – Simulação (Computador).
3. Biorretenção. I. Título.

CDU: 627.5(813.5)



Folha de Aprovação

GEDSON SILVA CUNHA

EFEITOS DA UTILIZAÇÃO DE BIORRETENÇÃO EM UMA ÁREA URBANA: ANÁLISES QUANTITATIVAS EM FUNÇÃO DO CÓDIGO DE EDIFICAÇÕES E URBANISMO DE MACEIÓ-AL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Em: 23/02/2019

Prof. Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza
(Orientador - PPGRHS/CTEC/UFAL)

Banca examinadora:

Prof. Dr. Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves
(Examinador interno – PPGRHS/CTEC/UFAL)

Prof.ª Dr.ª Rutinéia Tassi
(Examinadora externa – UFSM)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer inicialmente aos meus pais, pelo apoio incondicional e compreensão durante toda minha jornada acadêmica.

Agradeço ao meu orientador, Professor Vladimir, pela disposição, dedicação e, principalmente, pela paciência no processo de orientação, com observações pontuais e oportunas. Aos professores Marllus e Ruberto pela contribuição na discussão acerca do trabalho.

Também agradeço aos meus companheiros de turma, Alisson, Luiza, Paulo, Dani e Maíra, pelo apoio e cumplicidade durante as etapas do mestrado, assim como pelos momentos de diversão.

Agradeço aos amigos, Hugo e Wallisson, que dividiram sala comigo, principalmente nessa reta final de trabalho, pelas conversas acadêmicas e não acadêmicas que tivemos nesse ambiente, tornando parte do trabalho mais agradável.

Agradeço a CAPES, pelo incentivo a pesquisa acadêmica e apoio financeiro.

Agradeço a CHI Water pela disponibilização da licença para uso do software PCSWMM.

Agradeço ao CNPq (processo 425311/2016-3), à FAPEAL (processo 60030.000411/2017) e à FINEP (convênio 01.10.0701.00), pelo apoio financeiro que viabilizou o desenvolvimento do projeto de pesquisa em biorretenção, e à FAPEAL/CAPES, pela concessão de bolsa de mestrado.

RESUMO

O acelerado processo de urbanização, sofrido pelo Brasil, iniciado nos anos de 1950, causou mudanças nas estruturas sociais e ambientais do país, causando impactos significativos na hidrologia urbana. O município de Maceió – AL, possui em seu Código de Urbanismo e Edificações (Lei Municipal nº 5.593, de 08 de fevereiro de 2007), diretrizes que tratam da aplicação de uma área para taxa de permeabilidade para tentar minimizar os impactos gerados pela urbanização, sendo o valor mínimo exigido de 15% do total da área do lote, para lotes com áreas maiores que 2.400 m², enquanto que lotes com área inferior a 1.200 m² são isentos da aplicação dessa taxa. É importante destacar o crescimento do padrão de ocupação residencial para o de tipologia multifamiliar (edifícios), desenvolvido pelo setor imobiliário, tal tipo de ocupação está associada à existência de subsolo (geralmente para utilização de garagens), no qual pode ocorrer total impermeabilização do lote (para aqueles menores que 1.200 m²). O trabalho teve como objetivo avaliar o impacto quantitativo da utilização de dispositivos de biorretenção em alternativa à aplicação da taxa de permeabilidade, prevista no código de edificações e urbanismo de Maceió-AL, para diferentes configurações do dispositivo e diferentes tempos de retorno (10, 5 e 2 anos). Esse estudo utilizou o modelo PCSWMM, que é bastante utilizado para bacias urbanas. Foi possível observar variações no potencial de redução da vazão pico em função das diferentes configurações propostas para o dispositivo, com valores entre 4,32 a 72,61% de redução, em função das configurações e tempo de retorno. Quanto à aplicação em escala de bacia, o resultado obtido apontou reduções na vazão de pico nos diversos cenários. Foi possível observar a redução da vazão de pico, ao aplicar biorretenções em áreas menores quando comparadas à aplicação da taxa de permeabilidade, com reduções de 43,55 a 23,10% na vazão de pico, ao aplicar a biorretenção em 50 a 7% da área prevista para a taxa de permeabilidade, com tempo de retorno de 2 anos. O resultado aponta para a possibilidade do aumento da área útil do lote a ser utilizada para outros fins, como por exemplo, garagem. Portanto, esse estudo pode servir como subsídio ao incentivo da aplicação de tal técnica compensatória, pois mostra-se vantajoso para construtores e controle do escoamento, uma vez que possibilita o aumento da área útil comercializável e a redução da vazão de pico gerada pelo lote.

Palavras-chave: Drenagem urbana, controle do escoamento na fonte, simulação.

ABSTRACT

The accelerated urbanization process occurred in Brazil, which began in the 1950s, caused changes in social and environmental structures in the country, causing significant impacts on urban hydrology. The municipality of Maceió - AL, has in its Urbanism and Buildings Code (Municipal Law No. 5,593, February 8, 2007), guidelines that deal with a permeability rate area application to try to minimize impacts generated by urbanization, with requires a minimum value of 15% to total lot area, for lots areas bigger than 2,400 m², while lots areas less than 1,200 m² are exempt from this rate. It is important to highlight the residential occupation pattern growth to multifamily type (buildings), developed by the constructor sector, such occupation is associated with subsoil existence (usually for garages use), in which lot total waterproofing can occur (for those smaller than 1,200 m²). The objective of this study was to evaluate the quantitative impact of bioretention devices usage, for different device configurations and return period (10, 5 and 2 years), as an alternative to permeability rate application, predicted on Maceió's buildings and urban planning code. This study used the PCSWMM model, which is widely used for urban basins. It was possible to observe peak flow reduction's potential variations due different device's configurations proposed, with reduction values between 4.32 and 72.61%, for different settings and return period. As for basin scale application, the result pointed to peak flow reductions for different scenarios. It was possible to observe the peak flow reduction when applying bioretention in smaller areas when compared to permeability rate application, with peak flow reductions of 43.55 to 23.10% when applying bioretention in 50 to 7% of the permeability rate area predicted, with a return time of 2 years. The result points to the possibility of useful lot area increasing to be used for other purposes, such as garage. Therefore, this study can serve as a subsidy to incentive such compensatory technique application, since it shows advantageous for constructors and flow control, since it makes possible tradable area and peak flow reduction generated by lot.

Keywords: urban drainage, source flow control, simulation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PERFIL DE UMA BIORRETENÇÃO	16
FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO CONCEITUAL DE UM DISPOSITIVO DE CONTROLE LID - BIORRETENÇÃO	21
FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA.....	24
FIGURA 4 - ÁREA DE ESTUDO - GRUTA DE LOURDES	25
FIGURA 5 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO BAIRRO DA GRUTA DE LOURDES SEGUNDO DISCRETIZAÇÃO DE PEDROSA (2008).....	27
FIGURA 6 - PEDOLOGIA DA ÁREA DO BAIRRO DA GRUTA DE LOURDES.....	28
FIGURA 7 - GRUPO DE SOLO (SCS) DA ÁREA DO BAIRRO DA GRUTA DE LOURDES.....	29
FIGURA 8 - PRECIPITAÇÕES DE PROJETO UTILIZADAS NAS SIMULAÇÕES, COM TR DE 10, 5 E 2 ANOS.	31
FIGURA 9 - PERFIL DA BIORRETENÇÃO INSTALADA NO CENTRO DE TECNOLOGIA DA UFAL.	32
FIGURA 10 - ÁREA DO LOTE CARACTERÍSTICO ESCOLHIDO	34
FIGURA 11 - DETALHES DO LOTE CARACTERÍSTICO ESCOLHIDO	35
FIGURA 12 - REDE DE MICRODRENAGEM FICTÍCIA TRAÇADA PARA ÁREA	37
FIGURA 13 - ESQUEMA DA BIORRETENÇÃO CONSIDERADA NAS SIMULAÇÕES	49
FIGURA 14 - HIDROGRAMAS DO CENÁRIO DE APLICAÇÃO DO CÓD. DE EDF. E URB. DE MACEIÓ-AL PARA O TEMPO DE RETORNO DE 10 ANOS	50
FIGURA 15 - NÍVEIS NO INTERIOR DA BIORRETENÇÃO DURANTE O EVENTO COM TR – 2 ANOS	51
FIGURA 16 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES COM VARIAÇÃO DA ALTURA DA CAMADA DE SOLO	52
FIGURA 17 - UMIDADE NA CAMADA DE SOLO DA BIORRETENÇÃO DURANTE O EVENTO COM TR – 2 ANOS, PARA ALTURAS DE 400 E 500 MM.	53
FIGURA 18 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES COM VARIAÇÃO DA ALTURA DA CAMADA SUPERFICIAL.....	54
FIGURA 19 - NÍVEL DA CAMADA SUPERFICIAL DA BIORRETENÇÃO DURANTE O EVENTO COM TR – 5 ANOS.....	55
FIGURA 20 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES COM VARIAÇÃO DO DIÂMETRO DO DRENO DE FUNDO.....	56
FIGURA 21 - NÍVEL DA CAMADA DE ARMAZENAMENTO DA BIORRETENÇÃO DURANTE O EVENTO COM TR – 2 ANOS PARA OS DIÂMETROS DE DRENO IGUAIS A 50 E 250 MM.	57
FIGURA 22 - HIDROGRAMA DA SUB-BACIA NAS CONDIÇÕES ATUAIS PARA OS TEMPOS DE RETORNO DE 10, 5 E 2 ANOS.....	61
FIGURA 23 - ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO EXUTÓRIO DA ÁREA DE ESTUDO PARA TEMPO DE RETORNO DE 10 ANOS	65
FIGURA 24 - ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO EXUTÓRIO DA ÁREA DE ESTUDO PARA TEMPO DE RETORNO DE 5 ANOS	65
FIGURA 25 - ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO EXUTÓRIO DA ÁREA DE ESTUDO PARA TEMPO DE RETORNO DE 2 ANOS	66

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - TAXAS DE PERMEABILIDADE DEFINIDAS PELO CÓDIGO DE EDIFICAÇÕES E URBANISMO DO MUNICÍPIO DE MACEIÓ	15
TABELA 2 - VALOR DE CN ADOTADO DE ACORDO COM O USO E COBERTURA DO SOLO NO GRUPO C (SCS).....	29
TABELA 3 - PARÂMETROS ADOTADOS PARA SIMULAÇÃO DA BIORRETENÇÃO NO MODELO	33
TABELA 4 - DIÂMETROS DOS TRECHOS DIMENSIONADOS PARA A REDE DA ÁREA DE ESTUDO	37
TABELA 5 - PARÂMETROS ADOTADOS PARA O LOTE NO MODELO	40
TABELA 6 - VARIAÇÃO DAS ALTURAS DAS CAMADAS NOS DIFERENTES CASOS	41
TABELA 7 - DIÂMETROS E COEFICIENTES DE DRENO PARA ENTRADA NO MODELO SWMM	42
TABELA 8 - CENÁRIOS DA VARIAÇÃO DE ÁREA DA BIORRETENÇÃO NO LOTE	43
TABELA 9 - PARÂMETROS ADOTADOS EM CADA SUB-BACIA	45
TABELA 10 - PARÂMETROS ADOTADOS EM CADA SUB-BACIA PARA O CENÁRIO FUTURO	47
TABELA 11 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES COM VARIAÇÃO DA ALTURA DA CAMADA DE ARMAZENAMENTO	51
TABELA 12 - PARÂMETROS ADOTADOS DA BIORRETENÇÃO NA VARIAÇÃO DAS ÁREAS	58
TABELA 13 - DIÂMETROS E COEFICIENTES DE DRENO ADOTADOS EM CADA BIORRETENÇÃO	59
TABELA 14 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES COM VARIAÇÃO DA ÁREA SUPERFICIAL DA BIORRETENÇÃO.....	59
TABELA 15 - PARÂMETROS ADOTADOS NAS BIORRETENÇÕES	62
TABELA 16 - CARACTERÍSTICAS DAS BIORRETENÇÕES NOS LOTES	63

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivos específicos	13
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1	Gestão de Águas de Chuva	14
3.2	Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió	15
3.3	Biorretenção.....	16
3.3.1	Aspectos técnicos de uma biorretenção	16
3.3.2	Aplicações de biorretenções.....	17
3.4	Modelagem de Biorretenção no Modelo SWMM.....	20
3.4.1	Métodos Computacionais.....	21
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
4.1	Área de Estudo	25
4.1.1	Perfil de ocupação da área.....	25
4.1.2	Características físicas e hidrológicas da área	27
4.2	Hidrogramas de projeto utilizados nas simulações	30
4.3	Estimativa de parâmetros quantitativos da biorretenção	31
4.4	Determinação da área com potencial para o uso de biorretenção	34
4.4.1	Lote característico	34
4.4.2	Área da bacia hidrográfica	36
4.5	Simulação do efeito da utilização de biorretenção	39
4.5.1	Simulação no lote característico.....	39
4.5.1.1	Altura das camadas da biorretenção x Redução Vazão de pico	41
Fonte: Autor (2019).		41
4.5.1.2	Diâmetro do dreno de fundo x Redução da vazão de pico	42
4.5.1.3	Variação da área impermeabilizada no lote e da área de aplicação da biorretenção	43
4.5.2	Simulação na bacia hidrográfica (Gruta de Lourdes).....	44

5.	RESULTADOS.....	49
5.1	Simulação no lote característico.....	49
5.1.1	Altura das camadas da biorretenção x redução vazão de pico (Qp).....	50
5.1.1.1	Variação da altura na camada de armazenamento	50
5.1.1.2	Variação da altura na camada de solo	52
5.1.1.3	Variação da altura na camada superficial (altura da berma)	54
5.1.2	Diâmetro do dreno de fundo x redução da vazão de pico	56
5.1.3	Variação da área impermeabilizada no lote e da área de aplicação da biorretenção	58
5.2	Simulação na bacia hidrográfica criada (parte do bairro da Gruta de Lourdes)	61
6.	CONCLUSÕES	67
	RECOMENDAÇÕES.....	68
	REFERÊNCIAS.....	69

1. INTRODUÇÃO

Os processos de urbanização causam impactos significativos na hidrologia urbana, pois aumentam expressivamente os valores de escoamento superficial e volumes gerados pela chuva, assim como diminuem o potencial de infiltração e o escoamento de base (quando não existem outras fontes que alimentem esse escoamento). A criação de áreas impermeáveis e a retificação das redes de drenagem urbana resultam em uma resposta mais rápida do escoamento superficial à chuva, assim como a diminuição dos tempos de concentração e a redução do tempo de recessão (FLETCHER; ANDRIEU; HAMEL, 2013).

Diante da problemática, práticas consideradas sustentáveis vêm sendo adotadas, tendo como alguns de seus objetivos o controle do escoamento superficial na fonte, restauração do fluxo natural e melhoria na qualidade de água de chuva escoada (HAMEL; FLETCHER, 2014; FLETCHER et al., 2015).

Uma das tecnologias adotadas por estas práticas é a biorretenção, em aplicação e estudo em diversas partes do mundo, tanto em aspectos quantitativos quanto qualitativos (DAVIS, 2007; MANGANGKA et al., 2015; FENG; BURIAN; POMEROY, 2016; BLECKEN et al., 2017; GOH et al., 2017; MACEDO et al., 2017), indicando que esta pode ser uma tecnologia efetiva na redução dos impactos gerados pelo desenvolvimento urbano sobre os recursos hídricos (DAVIS, 2008).

Porém, esses estudos preocupam-se com aspectos como a análise do funcionamento do dispositivo ao longo do tempo, métodos de dimensionamento, identificação de parâmetros para o dimensionamento, detalhes construtivos e melhoria em sua eficiência (DANIEL JÚNIOR, 2013; CADORE, 2016; GAO et al., 2018; XIA et al., 2018; YANG; CHUI, 2018). Onde são usadas informações características como clima, solo e vegetação (TAHVONEN, 2018).

No entanto, outro importante aspecto que deve ser levado em consideração, embora não seja tão destacado, são os padrões de ocupação urbana. Muito embora exista a percepção da necessidade de aplicação de leis e normas que pressuponham uma ocupação harmônica com a hidrologia local (menor impermeabilização do solo, distanciamento de cursos d'água, etc.), ainda percebe-se poucas ferramentas nos instrumentos normativos para que se torne possível a aplicação de práticas de desenvolvimento de baixo impacto.

A falta de rigor legal pode ser observada no caso da cidade de Maceió – AL, onde o código de urbanismo e edificações do município (MACEIÓ, 2007), em seu capítulo VI (artigos 280, 281 e 282), trata da taxa de permeabilidade do solo. A referida lei permite que terrenos ou

lotes com áreas inferiores ou iguais a 1.200 m² sejam isentos dessa taxa, sendo considerada uma fração mínima de 15% da área do lote para valores superiores a 2.400 m².

Porém, o capítulo supracitado, em seu artigo 282, prevê a possibilidade da apresentação de projetos técnicos pela construtora a fim de eliminar a exigência desta taxa de permeabilidade, uma vez que este garanta equivalência a taxa de permeabilidade do terreno (MACEIÓ, 2007). Embora o código não sugira ou aponte ferramentas para determinação da técnica, o dispositivo de biorretenção mostra-se como uma possível alternativa, tendo em vista que suas características de funcionamento podem alcançar o atendimento das exigências legais, em substituição as áreas destinadas à aplicação da taxa de permeabilidade.

Como motivação desse estudo, foram levados em consideração alguns pontos, sendo os dois principais: o novo e crescente perfil de ocupação imobiliário no município de Maceió-AL (LÔBO, 2018); e a legislação existente, Código de Urbanismo e Edificações do município (MACEIÓ, 2007), o qual necessita de melhorias no sentido de compatibilizar os processos de ocupação urbana com as questões ambientais, onde nesse certame encontram-se as questões hidrológicas.

O estudo do funcionamento de dispositivos de biorretenção sobre áreas totalmente impermeabilizadas, como no caso de edifícios com pavimentos no subsolo (muitas vezes utilizados como garagem), poderia servir com subsídio a favor da aplicação de uma prática de desenvolvimento de baixo impacto. Podendo compatibilizar a busca do setor imobiliário pela utilização máxima do terreno, a fim de maximizar os ganhos econômicos sobre o empreendimento, com a prática de desenvolvimento de baixo impacto. Essa avaliação poderia servir de ferramenta para o auxílio do desenvolvimento de políticas públicas neste setor.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Avaliar o impacto da implantação de biorretenções em áreas urbanas, sobre a ótica do planejamento sustentável, na escala de bacia hidrográfica e considerando a impermeabilização total do terreno.

2.2 Objetivos específicos

- Estimar parâmetros quantitativos da biorretenção para aplicação no *Storm Water Management Model* (SWMM), a partir de estudos em escala experimental.
- Identificar o efeito da variação de diferentes configurações de biorretenções (área superficial, altura das camadas e diâmetro do dreno), em seu funcionamento sobre laje (solo impermeável).
- Avaliar a aplicação de biorretenções como alternativa a aplicação da taxa de permeabilidade prevista no código de edificações e urbanismo do Maceió-AL.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Gestão de Águas de Chuva

Nas últimas décadas, a discussão sobre práticas de gestão de águas de chuva se intensificaram ainda mais pelo mundo. No Brasil, embora também tenha ocorrido esse debate, ele acontece de forma discreta. Essa lacuna se dá, principalmente, devido à falta de sensibilidade por parte dos gestores públicos em adotarem como prática o conhecimento gerado na academia e advindo de experiências em outros países mais à frente nessa temática (LARENTIS, 2017).

Outro aspecto importante, são as diferentes nomenclaturas utilizadas para descrever tais práticas, Low Impact Development (LID), Water Sensitive Urban Design (WSUD), Integrated Urban Water Management (IUWM), Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), entre outras. No entanto, diferentes termos podem ser usados para descrever o mesmo propósito, tornando o debate muitas vezes confuso. Portanto, é importante que os autores deixem claro quais são seus objetivos diante de determinada nomenclatura, de forma a facilitar o entendimento e diálogo com os demais, uma vez que existe uma diversidade cultural e linguística devido à globalização de tal tema (FLETCHER et al., 2015).

Com o avanço da discussão acerca da gestão sustentável de águas de chuva, países e cidades vem observando a relevância da adoção dessas práticas, pois tais medidas conseguem alcançar múltiplos objetivos, no qual os principais podem variar de acordo com a realidade de cada local, como por exemplo, a redução potencial de alagamentos em áreas urbanas com um alto grau de impermeabilização. Tendo o sistema de planejamento urbano e regional, um importante papel na transição da gestão de água de chuva convencional para uma gestão sustentável (GOULDEN et al., 2018).

3.2 Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió

A Lei Municipal Nº 5.593, de 08 de fevereiro de 2007, instituiu o código de urbanismo e edificações do município de Maceió, que estabelece o zoneamento da cidade de acordo com os parâmetros de macrozoneamento do plano diretor de desenvolvimento urbano (lei municipal n. 5.486, de 30 de dezembro de 2005) e dá outras providências.

Dentre as diretrizes desse código estão a compatibilização do uso, da ocupação e do parcelamento do solo e a facilitação da drenagem das águas pluviais. Dentro deste contexto, o Capítulo VI do documento trata da taxa de permeabilidade, definindo-a e determinando a sua aplicação.

No referido capítulo, o código considera a taxa de permeabilidade como sendo a relação entre as áreas descobertas e permeáveis do terreno e sua área total. Assim como, define as áreas permeáveis aquelas sem pavimentação e sem edificação subterrânea, dotadas de solo natural ou vegetação, ou com pavimento drenante, que contribua para o equilíbrio climático e favoreçam a drenagem de águas pluviais (MACEIÓ, 2007).

A Tabela 1 resume os critérios apontados no artigo 281 do código, que classifica e determina a respectiva taxa de permeabilidade mínima que deve ser aplicada a cada categoria.

Tabela 1 - Taxas de permeabilidade definidas pelo código de edificações e urbanismo do município de Maceió

Categoria	Taxa de permeabilidade
Terrenos ou lotes com área igual ou inferior a 1.200,00 m ²	Isento
Terrenos ou lotes com área superior a 1.200 m ² até 1.800 m ²	5%
Terrenos ou lotes com área superior a 1.800 m ² até 2.400 m ²	10%
Terrenos ou lotes com área superior a 2.400 m ²	15%

Fonte: Maceió, 2007 (adaptado).

Além disso, em seu artigo 282, o código prevê a possibilidade da apresentação de um projeto técnico, por parte da construtora, de forma que garanta a permeabilidade do terreno, eliminando a exigência da área de reserva (Tabela 1).

Outros municípios possuem leis, anteriores ao código de edificações e urbanismo de Maceió, que, além de outros aspectos, determinam critérios mais específicos quanto ao controle de drenagem na fonte, como no caso do município de Belo Horizonte, com a Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do solo de Belo Horizonte, nº 7.166/96 (BELO HORIZONTE, 1996); Porto Alegre – Decreto Municipal nº 15.371/06 (PORTO ALEGRE, 2006); São Paulo –

Lei Municipal nº 13.276/02 (SÃO PAULO, 2002); Rio de Janeiro – Decreto Municipal nº 23.940/04 (RIO DE JANEIRO, 2004); Curitiba – Decreto Municipal nº 176/07 (CURITIBA, 2007).

As referidas leis determinam o potencial de retenção do volume e/ou vazão máxima lançada na rede pública de água pluvial por unidade de área, além de apontar equações que terminam o volume dos reservatórios de detenção em função da área impermeabilizada, área drenada, índice pluviométrico e tempo de duração da chuva (DRUMOND, 2012).

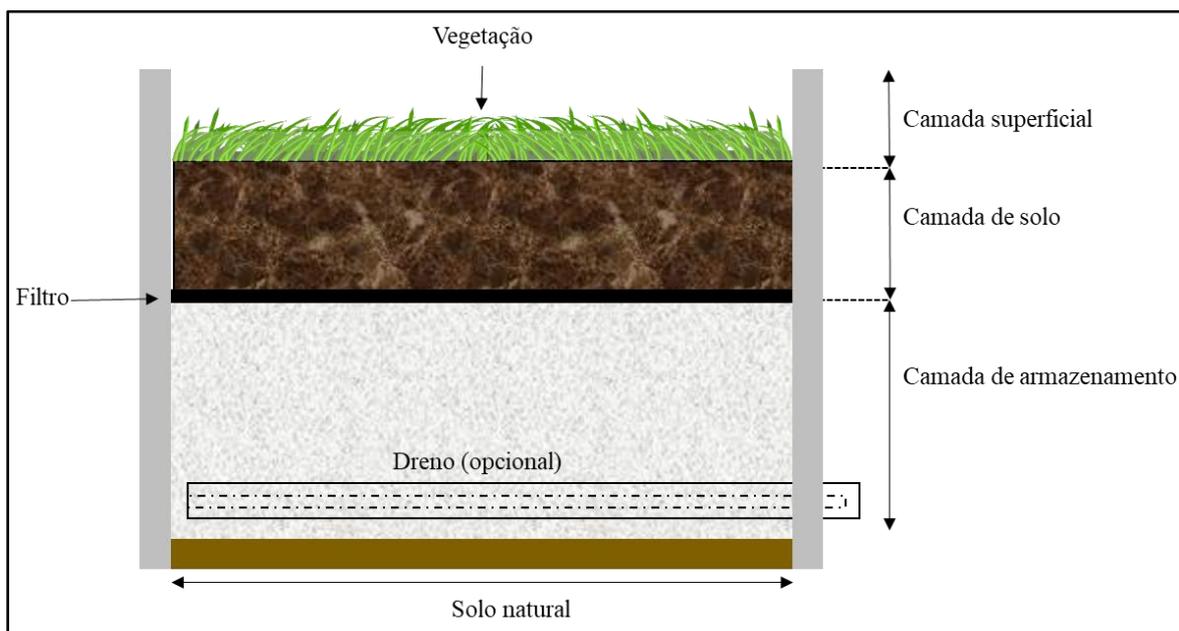
3.3 Biorretenção

3.3.1 Aspectos técnicos de uma biorretenção

A técnica de biorretenção foi desenvolvida em conjunto com a nova filosofia holística de desenvolvimento, citada no tópico anterior. A qual pode servir diferentes propósitos, podendo ser dimensionada para tentar reestabelecer as condições hidrológicas anteriores, a partir do tratamento, na fonte ou próximo a fonte, do escoamento gerado. Tal dispositivo depende de diversas características locais (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2002).

O dispositivo de biorretenção é composto por diferentes camadas, em geral, são elas, camada superficial, de solo e de armazenamento, podendo ou não possuir dreno. Em geral, na interface entre as diferentes camadas coloca-se uma pequena camada filtrante (Figura 1).

Figura 1 - Perfil de uma biorretenção



Fonte: Autor (2019).

Alguns parâmetros de projeto, recomendados por diversos manuais de construção podem ser observados a seguir (MOGENFELT, 2017):

- Declividade ao redor da biorretenção deve ser de 33% ou menos.
- 50 a 180 cm, em média, de camada de solo.
- 5 a 10 cm de camada de filtro.
- 15 a 120 cm de camada de armazenamento.
- 10 a 20 cm de diâmetro do dreno.
- Construção com uma inclinação menor ou igual a 6%.

A biorretenção, nos processos hidrológicos, atua primariamente na atenuação das vazões de pico e no favorecimento da infiltração do volume gerado pelo escoamento. Em uma escala secundária, também favorece o processo de evapotranspiração (HAMEL; FLETCHER, 2014; ROSSMAN; HUBER, 2016).

3.3.2 Aplicações de biorretenções

DAVIS (2008) avaliou a redução do volume, do pico e do tempo de pico da vazão escoada de uma área de estacionamento asfaltada, com cerca de 0,24 ha, para duas biorretenções construídas em paralelo, no campus da University of Maryland. Foi monitorando um período com um total de 2 anos, onde ocorreram 49 eventos de precipitação.

As biorretenções foram construídas de acordo com o manual de biorretenção de Prince George's County, cada uma com dimensões de 2,4 m de largura e 11 m de comprimento (28 m² de área superficial, aproximadamente). O substrato em cada célula era composto por uma mistura de 50% de areia, 30% de solo superficial e 20% de compostagem com menos de 10% de argila em sua composição. A diferença entre as células era a existência de uma zona anoxia em uma delas, para poder promover o processo de desnitrificação na água infiltrada, resultando em células com profundidades diferentes, com 0,90 e 1,20 metros.

Os resultados do monitoramento realizados nas biorretenções instaladas no campus da University of Maryland indicaram a efetividade dessa tecnologia na redução dos impactos hidrológicos advindos do desenvolvimento sobre os recursos hídricos. Onde, dos 49 eventos observados, 18% tiveram seu volume totalmente absorvido pelos dispositivos. Também foi possível observar reduções de vazão de pico entre 44 a 63%. Assim como constatou-se uma redução significativa no tempo de pico do volume escoado, normalmente com um fator de redução igual a 2 ou maior.

O estudo realizado por DANIEL JÚNIOR (2013), na Universidade Federal de Santa Maria, possibilitou a observação da aplicação de uma biorretenção como dispositivo de controle do escoamento da fonte. Nesse trabalho, foi analisado uma trincheira de infiltração dimensionada para receber o volume escoado de um telhado com 170 m².

Para tal dimensionamento, foram considerados parâmetros como: área de infiltração, de captação e de evapotranspiração, coeficiente de evapotranspiração da cultura, coeficiente de infiltração do solo local e porosidade do substrato. Onde foram considerados valores para as condições menos favoráveis ao funcionamento do dispositivo, como o mês mais frio, para evapotranspiração e condição mais saturada do solo, para infiltração. O local onde a biorretenção foi aplicada possui características argilosas e com ocorrência de compactação e ocorrência de precipitação regulares durante os meses do ano, variando entre 1500 a 1600 mm de média anual.

Com isso, DANIEL JÚNIOR (2013) observou a eficiência do dispositivo quanto ao tratamento quantitativo da chuva escoada do telhado, com uma eficiência acima da projetada. Onde no período monitorado, janeiro de 2011 a março de 2013, o dispositivo foi capaz de suportar todos os eventos, chegando ao nível máximo, registrando nesse período, de 80 cm (cerca de 67% do nível útil), sendo o evento com maior tempo de retorno registrando de aproximadamente 3,6 anos.

Também apontou a inclusão de filtros finos como um fator importante para possibilitar aumento vida útil do dispositivo, uma vez que foi observada a existência do processo de colmatação, o qual culmina na redução da taxa de infiltração do no dispositivo. Além disso, foi apontada a importância da biorretenção na possibilidade de permitir o desenvolvimento de plantas, podendo serem ornamentais ou para consumo humano, com a falta necessidade de adubação e irrigação constantes.

MACEDO et al. (2018), comparou a performance entre biorretenções em escala de laboratório e em escala de campo. O primeiro dispositivo localizava-se no Campus 1 – da USP São Carlos, possuindo uma área de contribuição de 16.600 m², enquanto que o segundo, localizava-se no Campus 2 – da USP São Carlos, recebendo contribuição de uma área de 23.700 m².

No caso da escala de laboratório, foi construída uma biorretenção com dimensões de 1 m x 1 m x 1,45 m, enquanto que para escala de campo o dispositivo possuía uma área superficial

igual a 60,63 m² e 3,2 m de profundidade. Foram analisados eventos com taxa de escoamento entre 47,5 a 183,9 cm/h.

O resultado do estudo apontou eficiências de 99,9% para retenção de água no dispositivo em escala de laboratório, com valores de percolação entre 32 a 76%. Para escala de campo, o potencial de retenção do dispositivo foi de 100%, sendo o seu volume reservado para armazenamento pouco utilizado, cerca de 0,12% da capacidade total.

Dois estudos (FERREIRA, 2017; SILVA, 2018), realizados na biorretenção instalada no Centro de Tecnologia (CTEC) da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, investigaram a resposta da biorretenção frente à alguns eventos ocorridos entre o período de junho de 2015 a agosto de 2017.

A referida biorretenção foi projetada para possuir uma área superficial igual a 6,4 m², sendo 4 m de comprimento, 1,6 m de largura e 1,5 m de profundidade, sendo o substrato composto por 3 tipos de materiais, areia na camada mais próxima ao solo natural, brita na camada intermediária e terra preta na camada superficial. O dispositivo recebe o escoamento gerado por duas áreas distintas, uma impermeável, com 173,77 m² e outra permeável com cerca de 125 m². Ademais, o dispositivo foi dimensionado pelo método da precipitação efetiva, considerando 76,8 mm de precipitação, com TR igual a 2 anos e tempo de pico do hidrograma igual a 400 minutos (ROSENDO, 2013).

FERREIRA (2017) monitorou a biorretenção de junho de 2015 a setembro de 2016, nesse período foram avaliados 37 eventos, de diferentes magnitudes, com TR menores que 0,1 ano a eventos com aproximadamente 139 anos de TR. Nesse intervalo de monitoramento, a biorretenção foi capaz de absorver 89% do escoamento superficial gerado pelos eventos, enquanto que em 11% dos casos, foi possível encontrar registros de extravasamento.

No segundo estudo (SILVA, 2018), foram escolhidos 21 eventos, dentre o período de julho de 2015 a agosto de 2017. Apresentando precipitação média igual a 47,30 mm, duração média de 15h 44min e nível médio no interior da biorretenção igual a 61 cm. Nesse monitoramento foi possível observar que o nível da biorretenção superou a altura da camada de armazenamento (camada de brita, com aproximadamente 80 cm de altura) em 7 dos eventos, apresentando níveis de transbordamento em 3 destes.

3.4 Modelagem de Biorretenção no Modelo SWMM

O Stormwater Management Model (SWMM), inicialmente desenvolvido em 1971, pela United States Environmental Protection Agency (EPA), é um modelo dinâmico de simulação chuva-vazão, podendo ser utilizado para um único evento ou simulação contínua de quantidade e qualidade especialmente em áreas urbanas. Este modelo vem recebendo diversas atualizações desde seu lançamento, incluindo a implementação de estruturas verdes referentes as práticas LIDs, onde nestas inclui-se a biorretenção (EPA, 2018).

O modelo considera diversos parâmetros hidrológicos, tais como variação da chuva no tempo, evaporação na superfície da água, interceptação da água de chuva por depressões no solo, infiltração da água de chuva em camadas do solo não saturada, percolação da água infiltrada nas águas subterrâneas, fluxo entre o sistema de drenagem e as águas subterrâneas, reservatórios de retenção não lineares, coleta e armazenamento da água de chuva através de vários tipos de práticas de desenvolvimento de baixo impacto (ROSSMAN, 2015).

A biorretenção, assim como os outros dispositivos LID, se encontra inserida nas propriedades da sub-bacia, onde é possível colocar um ou mais destes equipamentos ou criar uma nova sub-bacia exclusivamente para isso. A biorretenção subtrai parte do escoamento superficial por meio de processos artificiais combinados, tanto de retenção, quanto de infiltração e evapotranspiração (ROSSMAN, 2015).

ROSA (2016) conseguiu, em seu trabalho, valores razoavelmente satisfatórios na calibração quantitativa de três eventos de chuva no modelo PCSWMM, tanto para a sub-bacia quanto para a técnica LID, evidenciando a capacidade deste em prever a geração de escoamento superficial. A partir das simulações feitas com o PCSWMM, ROSA (2016) corrobora com a afirmação que práticas LID podem mitigar os impactos do desenvolvimento urbano, tanto em aspectos de qualidade quanto de quantidade (excessos de escoamento e poluentes), reduzindo os riscos de alagamento em bacias urbanas.

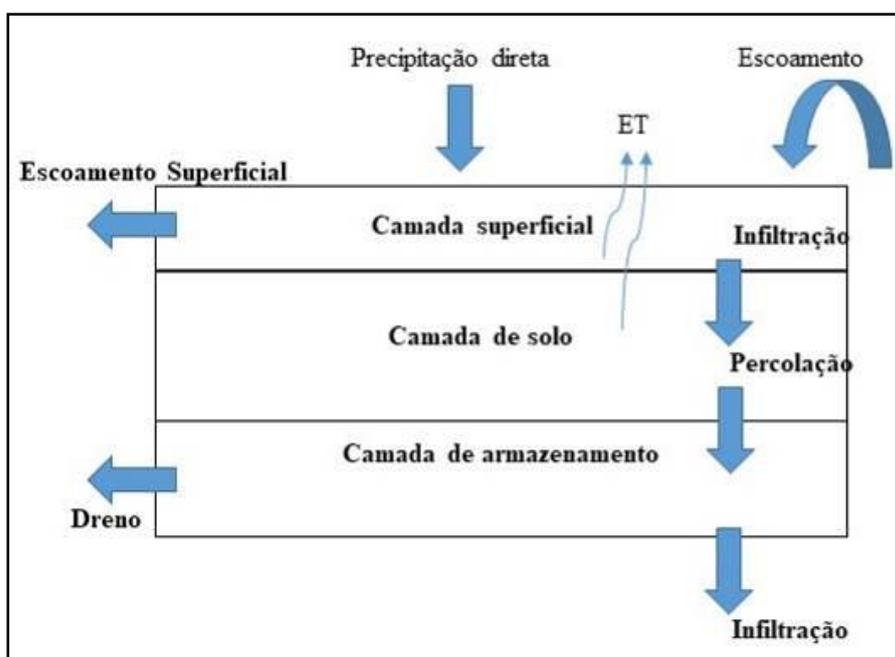
3.4.1 Métodos Computacionais

O SWMM realiza simulações físicas, fazendo uso de soluções discretas ao longo do tempo. Nele são aplicados os princípios de conservação de massa, de energia e da quantidade de movimento, quando apropriado (ROSSMAN, 2015).

Representação da biorretenção no SWMM:

A biorretenção é representada pela combinação de camadas verticais, as quais tem suas propriedades definidas em função da unidade de área (Figura 2). A camada superficial recebe contribuição direta da precipitação e o escoamento superficial de outras áreas, podendo perder água por evapotranspiração (ET), infiltração no solo e escoamento superficial. A camada de solo possui um preparado para favorecer o crescimento da vegetação. Esta recebe contribuição da camada superficial a partir da infiltração e perde água através da evapotranspiração (ET) e por percolação na camada de armazenamento abaixo. Por fim, a camada de armazenamento, geralmente composta por pedregulhos ou cascalho, recebe água a partir da percolação da camada de solo acima e perde água através de infiltração no solo natural abaixo do dispositivo e pelo dreno, quando instalado (ROSSMAN; HUBER, 2016). O módulo LID usa a equação de Green-Ampt para representação do modelo de infiltração (ROSSMAN, 2015).

Figura 2 - Representação conceitual de um dispositivo de controle LID - Biorretenção



Fonte: Rossman, 2015 (adaptado pelo autor).

O modelo hidrológico que atua na biorretenção assume as seguintes simplificações (ROSSMAN; HUBER, 2016):

- A área da seção transversal se mantém constante ao longo da profundidade.
- O fluxo de água é unidimensional na direção vertical.
- A entrada de água é uniformemente distribuída no topo da camada de solo.
- O teor de umidade é uniformemente distribuído na camada de solo.
- As forças matriciais na camada de armazenamento são insignificantes, fazendo com que essa camada atue apenas como um simples reservatório, que armazena água de baixo para cima.

Os parâmetros de entrada do modelo para o módulo da biorretenção são:

Na camada superficial:

- Altura da berma: altura das paredes laterais, correspondente a altura máxima que a água pode ser armazenada antes que ocorra transbordamento da biorretenção, em mm.
- Fração do volume de vegetação: volume ocupado por raízes e galhos (geralmente adota-se 0,1 a 0,2), em fração de volume.

Os demais parâmetros presentes nessa camada devem ser considerados 0, pois condizem a outras práticas LID, não cabendo para biorretenção.

Na camada de solo:

- Espessura da camada: altura vertical da camada de solo da biorretenção, em mm.
Porosidade: porosidade da camada de solo da biorretenção, em fração do volume.
- Capacidade de campo: capacidade máxima do solo em reter água, acima da qual ocorrem perdas por percolação de água no perfil ou por escoamento superficial, em fração do volume.
- Ponto de murcha: limite mínimo da água armazenada no solo que será usada pelos vegetais, em fração do volume. Umidade inicial.
- Condutividade: condutividade hidráulica do solo quando saturado, em mm/h.

- Curva de condutividade: parâmetro de calibração da velocidade e percolação da água no solo para condições não saturadas, adimensional.
- Capilaridade do solo: valor médio da capilaridade do solo ao longo da frente úmida, em mm.

Na camada de armazenamento:

- Espessura da camada: altura vertical da camada de armazenamento da biorretenção, em mm.
- Volume de vazios: volume relativo de vazios relativos ao volume de sólidos na camada, em fração do volume.
- Taxa de infiltração: a taxa em que a água infiltra no solo natural, em mm/h.
- Fator de colmatação: número necessário para colmatar completamente os espaços vazios na camada de pavimento com o escoamento tratado.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

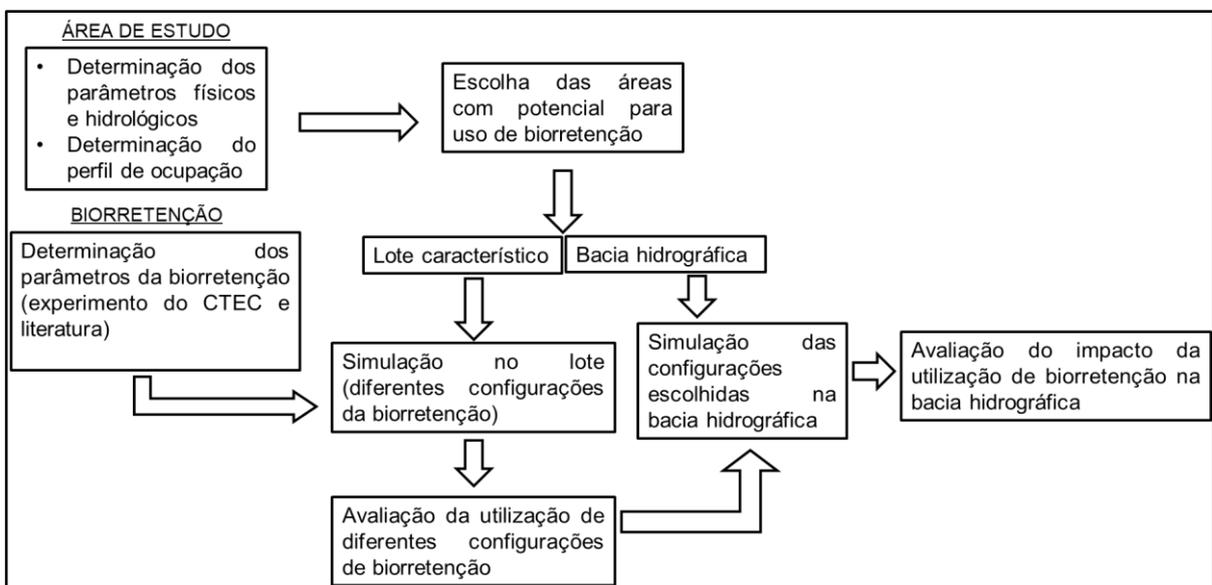
Para o desenvolvimento do estudo, foi criada uma área fictícia, com características reais, encontradas no bairro da Gruta de Lourdes, no município de Maceió-AL. Foram utilizadas as características do uso e ocupação do solo, área, configuração das quadras, parâmetros hidrológicos como: precipitação, tempo de concentração, curva IDF da região.

O Código de Urbanismo e Edificações foi utilizado como referência para o dimensionamento dos dispositivos de biorretenções avaliados no estudo, tomando como base a área reservada para taxa de permeabilidade, que serviu como parâmetro para determinar a área superficial dos dispositivos. No entanto, foram avaliadas diferentes profundidades das camadas da biorretenção e seu efeito no escoamento.

Esse estudo utilizou o modelo SWMM, a partir do software PCSWMM, o qual é amplamente aplicado a bacias urbanas e já foi utilizado em estudos anteriores na bacia a qual o objeto de estudo está inserido (PEPLAU; NEVES, 2014; BARROS, 2015).

O resumo da metodologia desse trabalho pode ser observado no fluxograma abaixo (Figura 3).

Figura 3 - Fluxograma da metodologia



Fonte: Autor (2019).

4.1 Área de Estudo

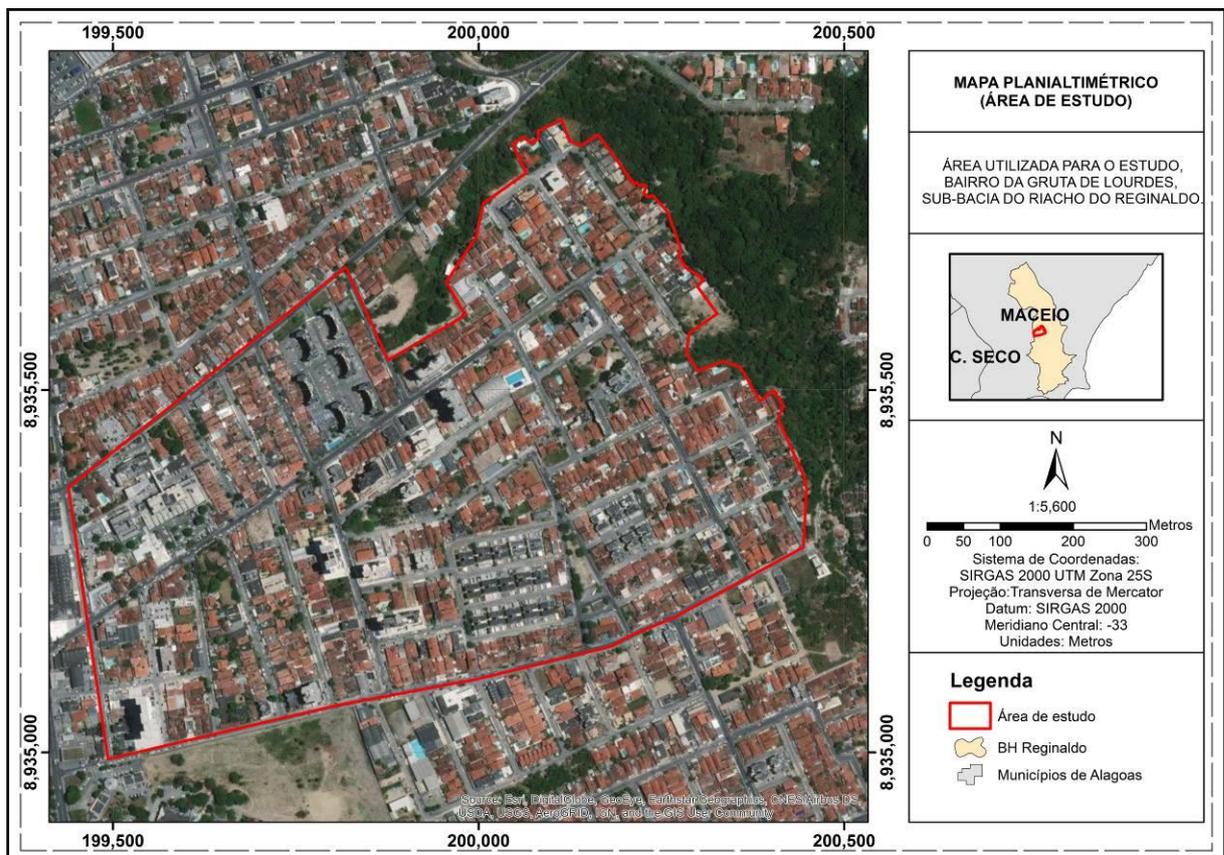
Para o estudo, optou-se por criar uma área fictícia com características próximas as reais. Então, foi escolhida uma região com o perfil de ocupação desejado e que possui estudos que levantaram algumas das informações necessárias para a simulação no modelo.

Porém, devido à dificuldade de encontrar e levantar alguns dos parâmetros pertinentes para aplicação do modelo, foram adotados valores de referências encontrados na literatura.

4.1.1 Perfil de ocupação da área

A área escolhida como referência para o estudo, foi uma parte do bairro da Gruta de Lourdes, Maceió-AL (sub bacia do Riacho do Reginaldo). A região possui um acentuado grau de urbanização, com uma área de aproximadamente 0,51 km², totalmente inserida na zona urbana de Maceió. A região é majoritariamente residencial, porém existem pequenos comércios com características residenciais e um hospital (Figura 4).

Figura 4 - Área de estudo - Gruta de Lourdes



Fonte: Autor (2019).

O perfil de ocupação no bairro da Gruta de Lourdes vem passando por um processo de verticalização, que se acentuou nos últimos anos. A mudança para esse perfil residencial tem causado um aumento da área impermeável no bairro, uma vez que os padrões de verticalização ocupam todo o terreno para viabilizar pavimentos em subsolo (garagem).

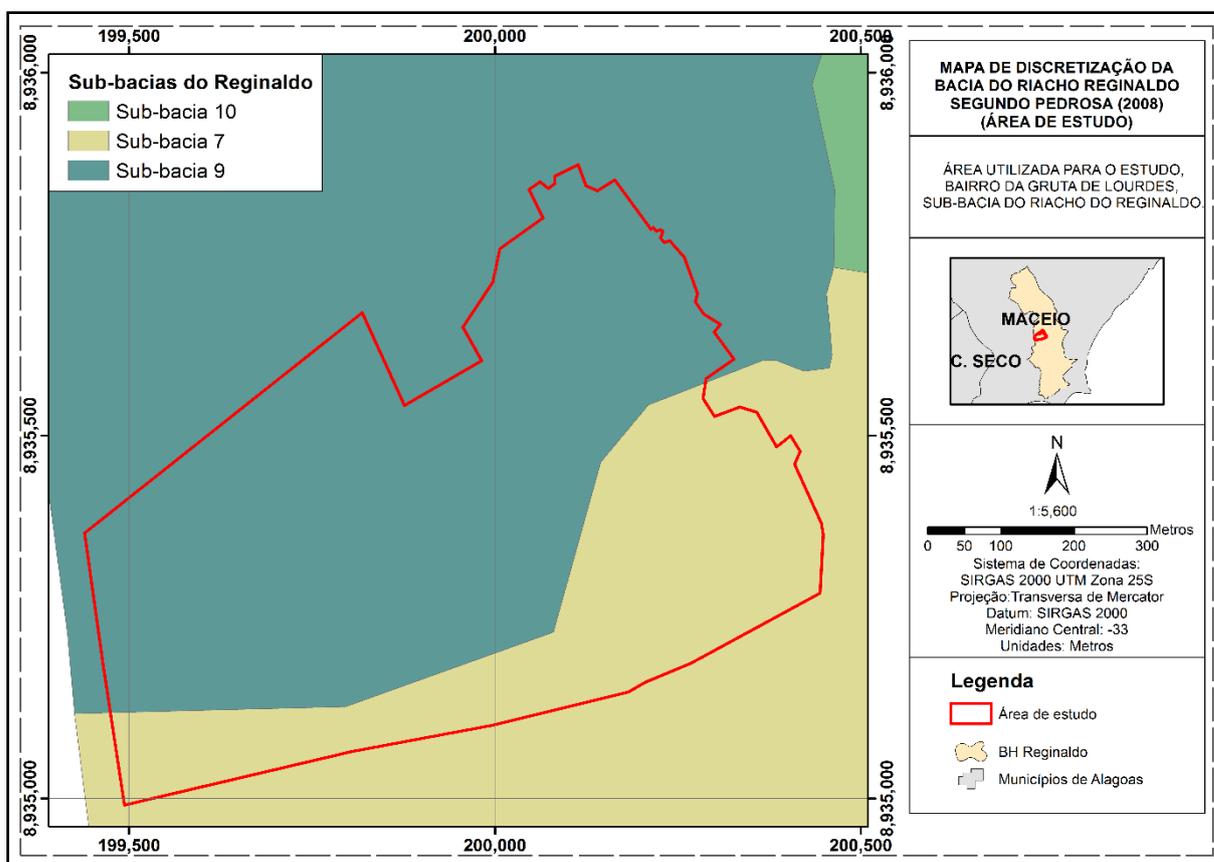
Essa mudança de perfil de ocupação (verticalização), é um caso recorrente no município, como relatado por LÔBO (2018), em seu estudo. O trabalho realizou um comparativo dos dados obtidos nos anos de 2002 e 2017, em uma área composta por 7 quadras na parte baixa da cidade, onde foi identificada uma redução significativa das áreas verdes (81,30%) e um aumento das áreas edificadas (12%), que por sua vez, resultou em um aumento da tipologia residencial com características de maior ou total impermeabilização do solo e rebaixamento artificial do lençol freático (42,55% dos lotes avaliados).

4.1.2 Características físicas e hidrológicas da área

Com o intuito de representar características de uma condição real de ocupação em meio urbano, alguns parâmetros foram obtidos tendo como referência àqueles da área do bairro da Gruta de Lourdes (Figura 4). Para tal, foram utilizados dois estudos (ANTONIO; NEVES, 2018), nos quais realizou-se o levantamento das características físicas e hidrológicas da bacia do riacho do Reginaldo, onde a área escolhida como referência para este estudo encontra-se inserida.

De acordo com a discretização da bacia do Riacho Reginaldo, realizada por PEDROSA (2008), a parte do bairro da Gruta de Lourdes, utilizada como base para obtenção dos parâmetros que serão aplicados, encontra-se dentro de duas sub-bacias desta divisão (Figura 5). Portanto, foi adotado um valor de declividade para a área criada na simulação de 2,29%, a partir da média das declividades das sub-bacias 7 e 9, com valores de 2,44 e 2,13% (PEDROSA, 2008), respectivamente.

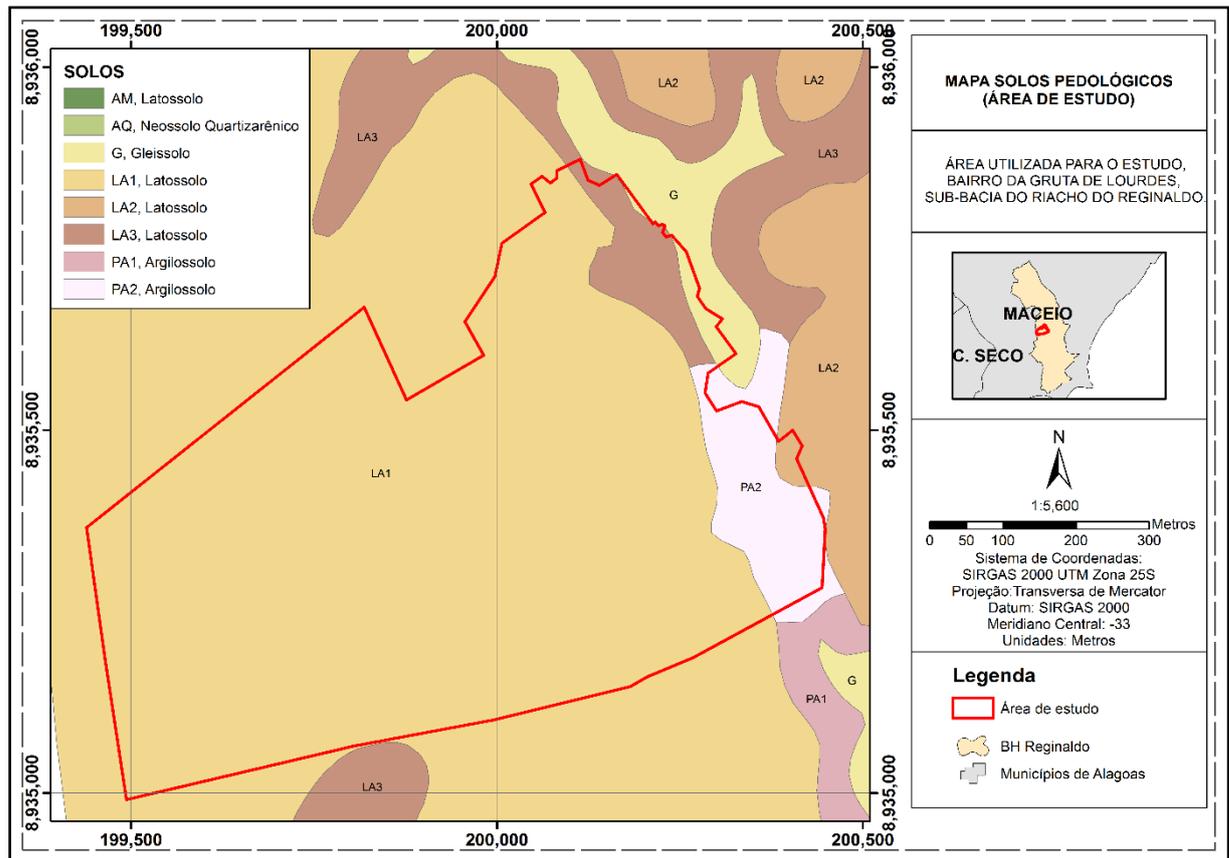
Figura 5 - Localização da área do Bairro da Gruta de Lourdes segundo discretização de PEDROSA (2008)



Fonte: Autor (2019).

Na discretização das características pedológicas realizada por ANTONIO (2017), na área de estudo, é possível observar que a bacia do Riacho Reginaldo é constituída por Latossolos, Gleissolos, Argilossolo e Neossolo Quartzarênico. A área de referência é composta predominantemente por Latossolo (Figura 6).

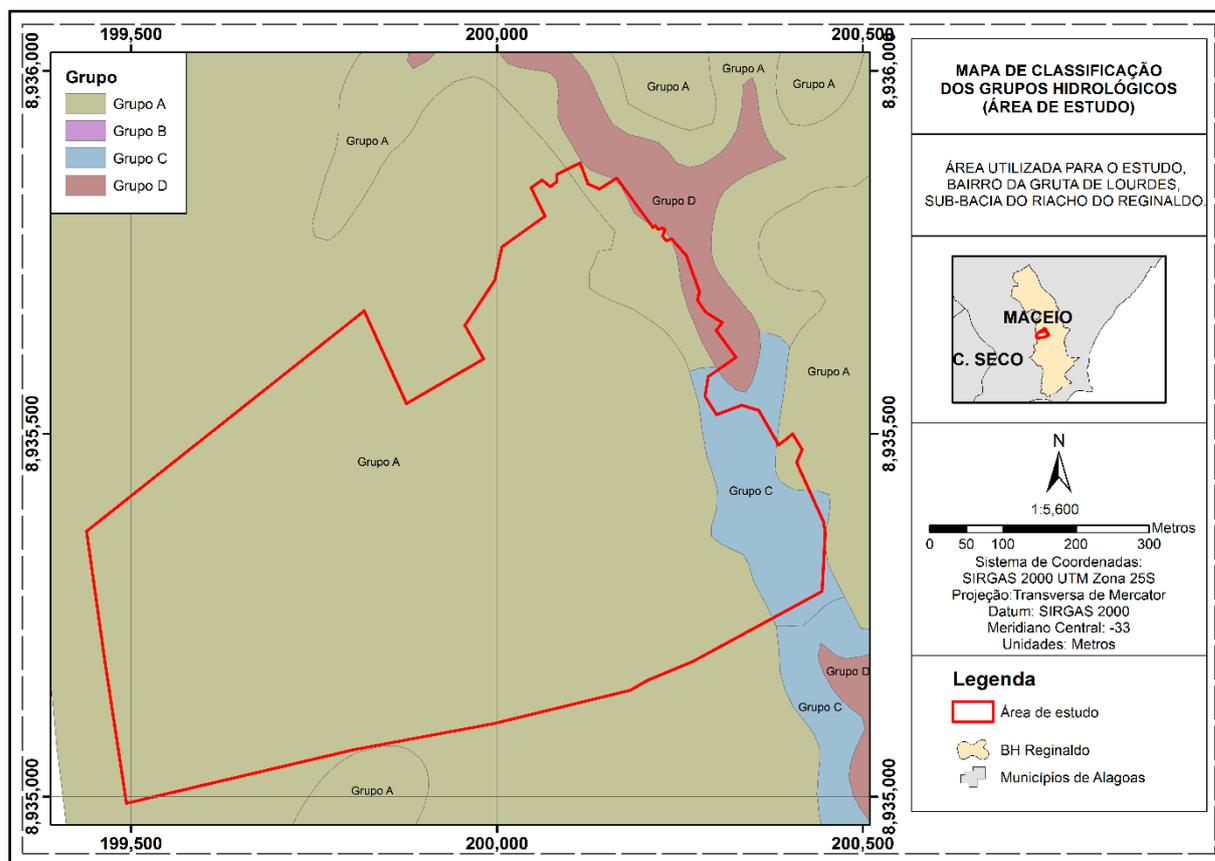
Figura 6 - Pedologia da área do Bairro da Gruta de Lourdes



Fonte: Adaptada de ANTONIO (2017).

A pedologia classificada como Latossolo se enquadra no Grupo C, segundo classificação realizada por SARTORI (2004), que determinou a relação entre a classificação pedológica de solos e as características dos grupos hidrológicos do solo apresentado pelo SCS (Figura 7).

Figura 7 - Grupo de Solo (SCS) da área do Bairro da Gruta de Lourdes



Fonte: Adaptada de ANTONIO (2017).

Portanto, foi adotado o Grupo de Solo C, para determinação do CN de acordo com o uso do solo na área criada para simulação. Os valores considerados estão na Tabela 2 de acordo com TUCCI (1993).

Tabela 2 - Valor de CN adotado de acordo com o uso e cobertura do solo no Grupo C (SCS)

Tipo de uso e cobertura do solo	CN
Zonas cultivadas: sem conservação do solo	88
com conservação do solo	78
Pastagens ou terrenos em más condições	86
Baldios em boas condições	74
Prado em boas condições	71
Bosques ou zonas com cobertura ruim	77
Floresta: cobertura boa	70
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições	
Com relva em mais de 75% da área	74
Com relva de 50% a 75% da área	79

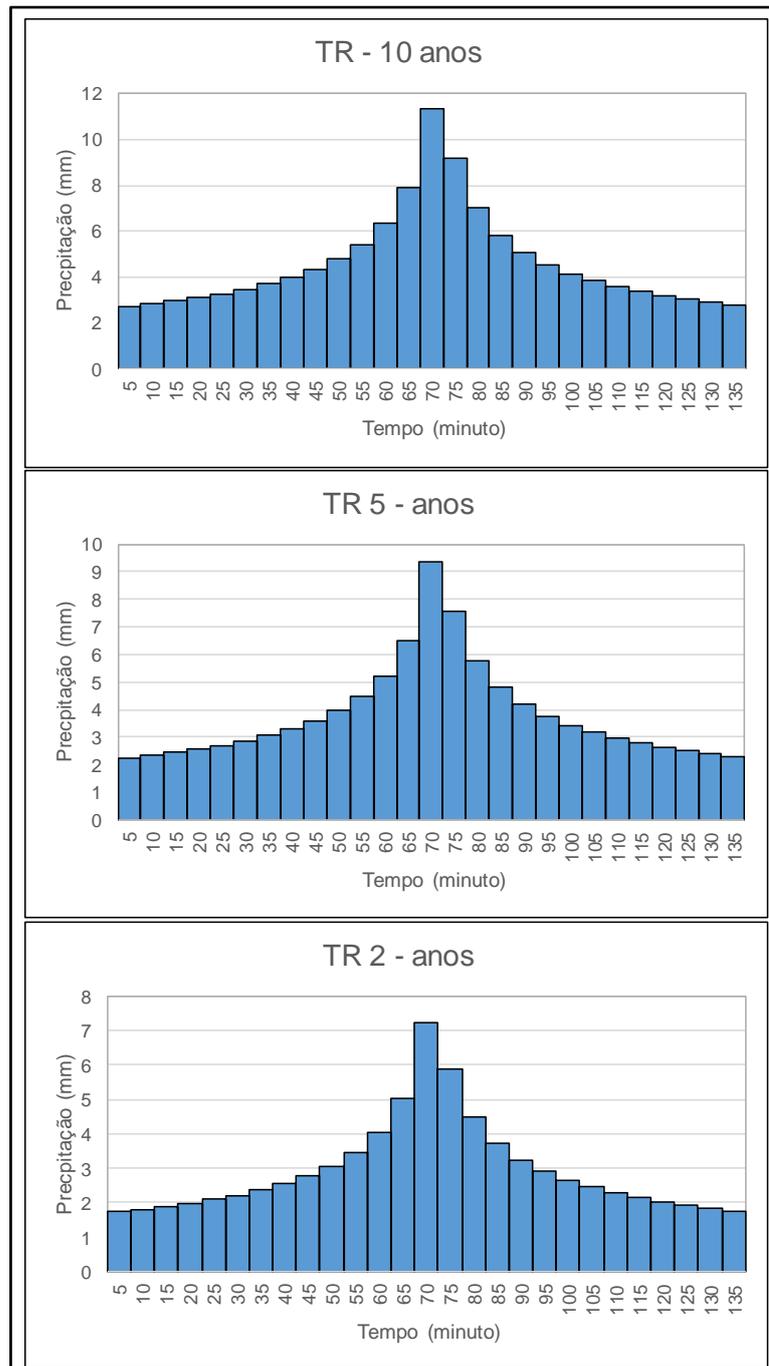
Tipo de uso e cobertura do solo		CN
Zonas comerciais e de escritórios		94
Zonas industriais		91
Zonas residenciais		
	Lotes de (m ²)	% média impermeável
	<500	65
	1000	38
	1300	30
	2000	25
	4000	20
Parques de estacionamentos, telhados, viadutos, etc.		98
Arruamentos e estradas		
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais		98
Paralelepípedos		89
Terra		87

Fonte: TUCCI (1993).

4.2 Hidrogramas de projeto utilizados nas simulações

Para a simulação, foram determinadas precipitações de projeto a partir da curva IDF de Maceió-AL (DERNARDIN; FREITAS, 1982), com os tempos de retorno de 10, 5 e 2 anos, discretizados em intervalos de tempo de 5 minutos e com duração de 135 minutos, definido por ser o tempo de concentração de toda a bacia do riacho do Reginaldo, o qual foi calculado em estudos anteriores (PEDROSA, 2008).

Figura 8 - Precipitações de projeto utilizadas nas simulações, com TR de 10, 5 e 2 anos.



Fonte: Autor (2019).

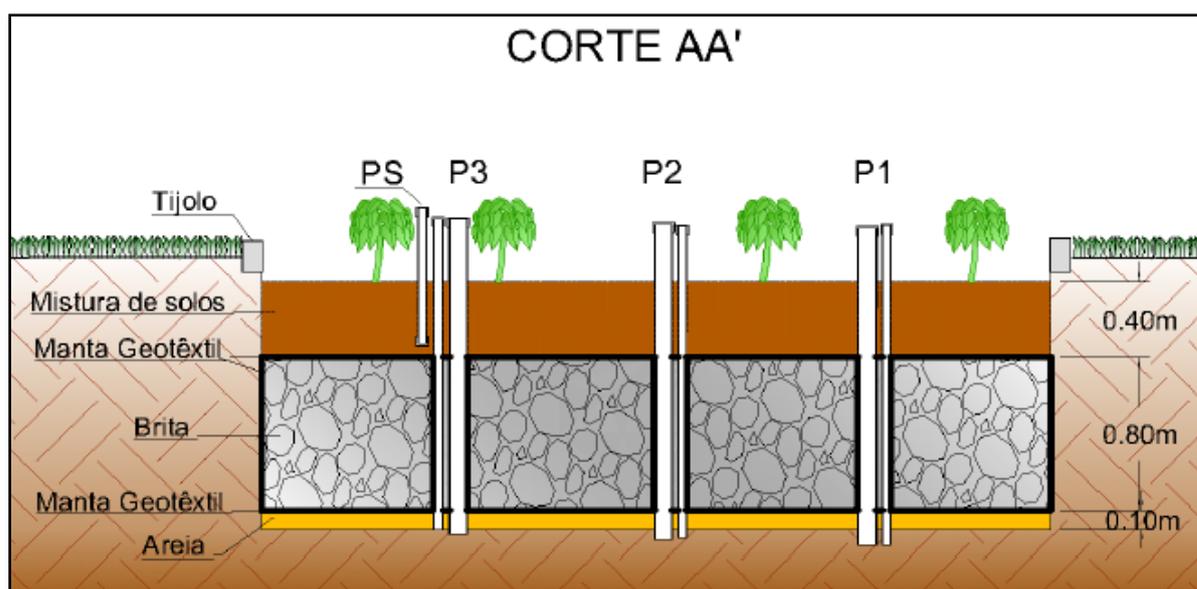
4.3 Estimativa de parâmetros quantitativos da biorretenção

Nesta etapa foi realizada a coleta de informações levantadas a partir do monitoramento da biorretenção existente no Centro de Tecnologia (CTEC) da Universidade Federal de Alagoas - UFAL. O dispositivo foi construído com uma área de 6,4 m², com 4 metros de comprimento, 1,6 metros de largura e 1,5 de profundidade, e é composto por três camadas dos seguintes

materiais: areia, brita e terra preta (MENEZES, 2015). Possui capacidade de armazenamento de 2,42 m³ e recebe escoamento de uma área impermeável de 173,77 m² e de uma área permeável de 125 m² (FERREIRA, 2017).

A camada inferior é , constituída de areia com porosidade de 25%, com espessura de 10 cm; em seguida, existe uma camada de brita com 80 cm (porosidade de 43,5%), envolvida por uma manta geotêxtil (BIDIM), responsável por grande parte do armazenamento da água; na parte superior, existe uma camada composta por substrato com húmus e terra preta (na proporção de 1:1), com 40 cm de espessura, que permite o plantio e o desenvolvimento de algumas plantas *Philodendron sagittifolium*, cujo nome popular é Imbé; por último existe um divisor em alvenaria (tijolo) com altura e espessura de 10 cm (Figura 9) (MENEZES, 2015; SILVA, 2018).

Figura 9 - Perfil da biorretenção instalada no Centro de Tecnologia da Ufal.



Fonte: BRAGA (2017)

Foram realizados ensaios de infiltração, pelo método do duplo anel, na camada superior da biorretenção. Assim como também foram obtidos resultados de ensaios anteriores realizados na biorretenção do CTEC, bem como de outras biorretenções implantadas pelo mundo, a partir de trabalhos publicados, a fim de aumentar o arcabouço de informações sobre este tipo de dispositivo.

Os parâmetros obtidos a partir do estudo da biorretenção do Centro de Tecnologia, como espessura das camadas, porosidade e condutividade hidráulica (determinado pela taxa de

infiltração) foram utilizados na aplicação do módulo da biorretenção no modelo (PCSWMM). Entretanto, alguns parâmetros requeridos pelo modelo não foram possíveis de serem medidos na biorretenção in loco, portanto, cabendo a estes uma pesquisa na literatura para inserção no módulo.

A Tabela 3 mostra os valores adotados para cada parâmetro, exigido no módulo da biorretenção do PCSWMM e de onde esses dados foram obtidos. Na camada de solo, os parâmetros que dizem respeito as características do substrato foram determinados a partir de uma única referência com a finalidade de manter sua uniformização, uma vez que são interdependentes e variam em função da composição do solo.

Tabela 3 - Parâmetros adotados para simulação da biorretenção no modelo

<i>Camada Superficial (Surface Layer)</i>		<i>Método de obtenção do parâmetro</i>
Altura da Berma (Berm height) (mm):	100	Medição na biorretenção do CTEC (MENEZES, 2015)
Volume de vegetação (Vegetation Volume) (fração):	0,1	Manual do PCSWMM (ROSSMAN, 2015)
Rugosidade (Surface roughness) (n de Manning):	0	Manual do PCSWMM (ROSSMAN, 2015)
Declividade (Surface slope) (percentual):	0	Manual do PCSWMM (ROSSMAN, 2015)
<i>Camada de Solo (Soil Layer)</i>		<i>Método de obtenção do parâmetro</i>
Espessura (Thickness) (mm):	400	Medição na biorretenção do CTEC (MENEZES, 2015)
Porosidade (Porosity) (fração):	0,52	(YANG & CHUI, 2018)
Capacidade de campo (Field capacity) (fração):	0,19	(YANG & CHUI, 2018)
Ponto de murcha (Wilting point) (fração):	0,08	(YANG & CHUI, 2018)
Condutividade hidráulica (Conductivity) (mm/h):	119	(YANG & CHUI, 2018)
Curva de condutividade (Conductivity Slope):	39,3	(YANG & CHUI, 2018)
Capilaridade (Suction head) (mm):	48	(YANG & CHUI, 2018)
<i>Camada de Armazenamento (Storage Layer)</i>		<i>Método de obtenção do parâmetro</i>
Espessura (Thickness) (mm):	800	Medição na biorretenção do CTEC (MENEZES, 2015)
Volume de vazios (Void ratio) (Fração):	0,435	Medição na biorretenção do CTEC (MENEZES, 2015)
Taxa de infiltração (Seepage rate) (mm/h):	0	Desconsiderado*
Fator de colmatação (Clogging fractor):	0	Desconsiderado
<i>Dreno (Underdrain)</i>		<i>Método de obtenção do parâmetro</i>
Coefficiente de dreno (Drain coefficient) (mm/h):	-	Adotado pelo Autor, em função do diâmetro, segundo o manual do modelo (ROSSMAN, 2015)
Expoente do dreno (Drain exponent):	0,5	Manual do PCSWMM (ROSSMAN, 2015)
Altura do dreno (Drain offset height) (mm):	-	Adotado pelo Autor, em função da configuração escolhida

*A taxa de infiltração na camada de armazenamento foi desconsiderada, pois o estudo buscou avaliar a aplicação da biorretenção sobre laje (superfície impermeável).

4.4 Determinação da área com potencial para o uso de biorretenção

4.4.1 Lote característico

Um lote, pertencente à área de estudo, foi escolhido inicialmente, com o intuito de representar o padrão de ocupação vertical e simular o comportamento da implementação de uma biorretenção. Onde foram levantadas características (parâmetros) exigidas pelo modelo, tais como:

- Área (ha), comprimento (m), declividade (%), porcentagem impermeável, coeficiente de Manning (n) para as parcelas impermeável e permeável, capacidade de armazenamento das frações impermeável e permeável (mm) e *Curve Number* (CN).

Este lote, possui uma área de aproximadamente 3.000 m², a qual o código de edificações e urbanismo do município de Maceió-AL prevê que seja disponibilizado um valor de 15% da área total para a taxa mínima permeabilidade (Figura 10).

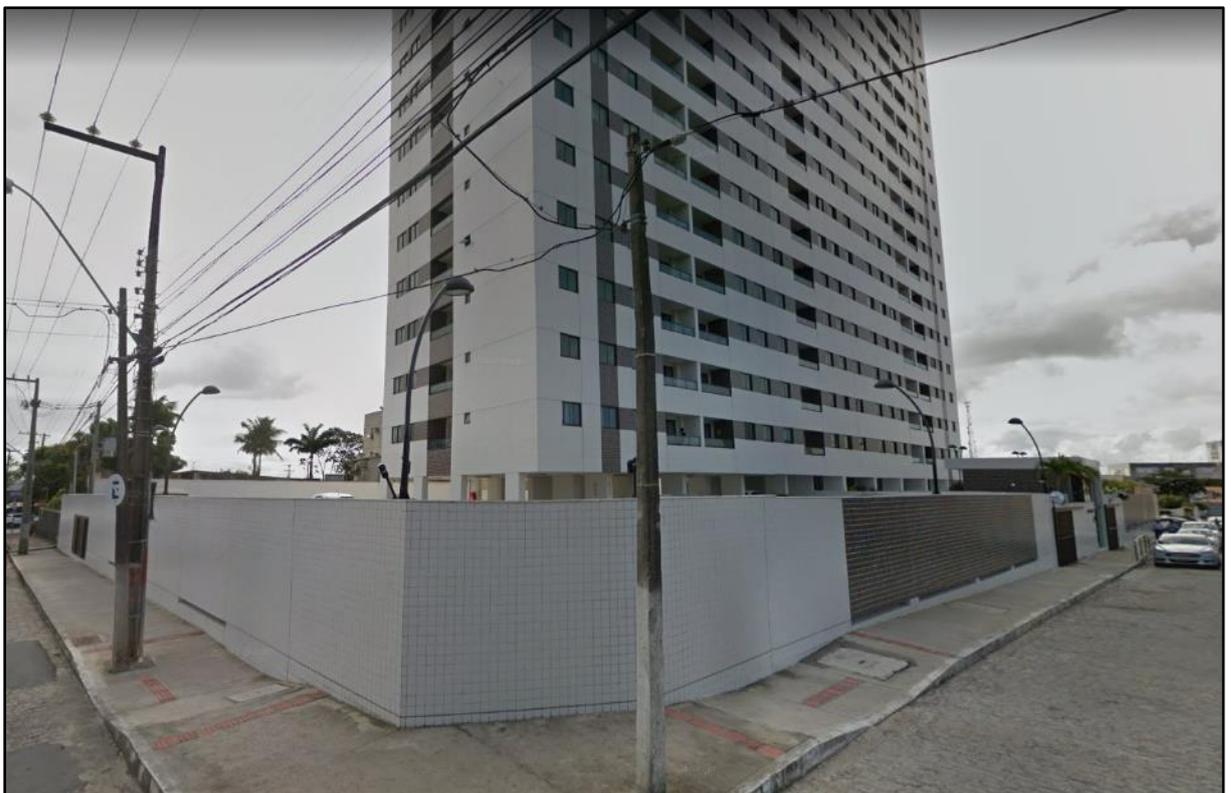
Figura 10 - Área do lote característico escolhido



Fonte: Autor, 2019 (adaptado do google Earth – imagem de 27/03/2019).

Embora exista essa exigência do código de urbanismo e edificações, é difícil de identificar se a lei está sendo cumprida nessa situação, como pode ser visto nas imagens registradas pelo Google, através do *Google Street View*.

Figura 11 - Detalhes do lote característico escolhido



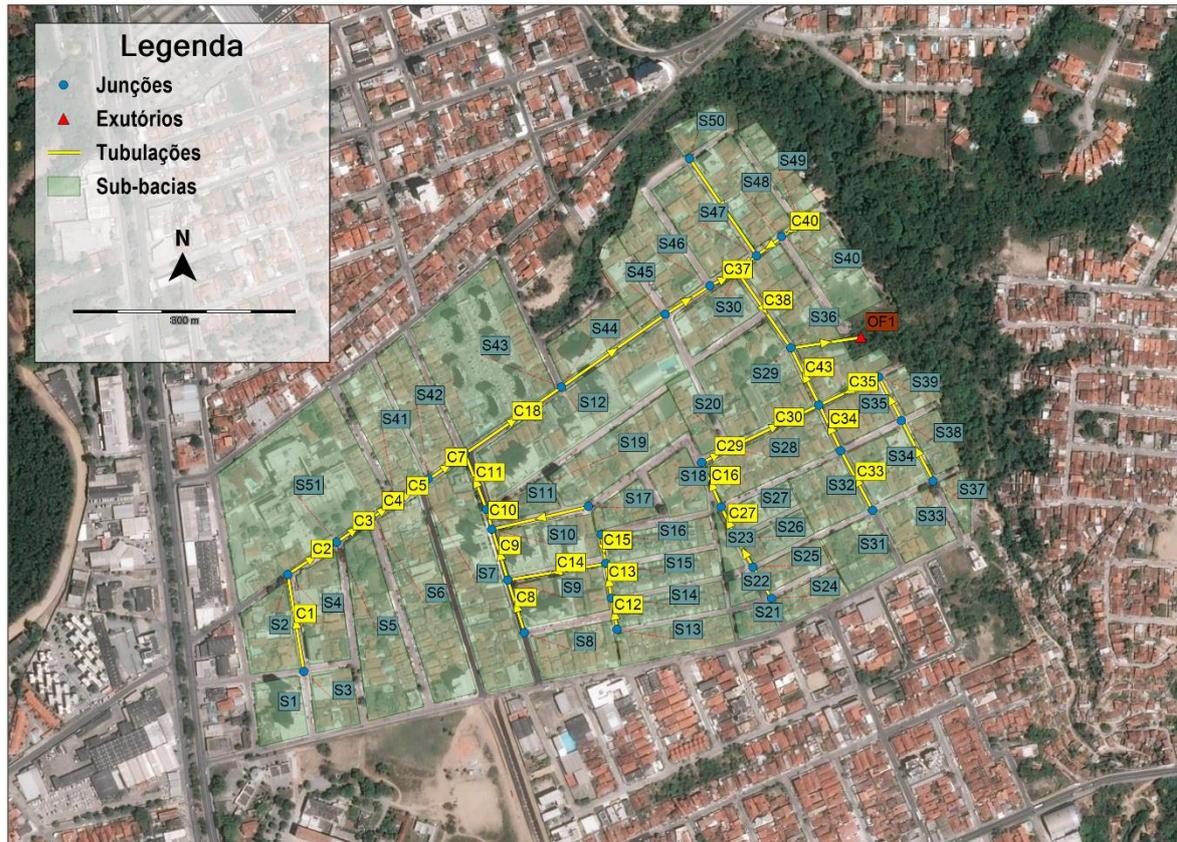
Fonte: Autor, 2019 (adaptado do Google Street View – imagem de agosto de 2017)

4.4.2 Área da bacia hidrográfica

Dentro da bacia hidrográfica (bairro da Gruta de Lourdes), foi escolhida uma área com ocupação residencial para a avaliação do efeito da implantação de biorretenções. Para isto, parte do bairro foi dividido em quadras e foi realizada a classificação visual a fim de identificar o tipo de uso e ocupação do solo e estimar os parâmetros necessários, com o intuito de deixar a área fictícia utilizada na simulação a mais real possível, para o estudo. Nesse processo foram utilizadas imagens de satélite disponibilizadas pela ferramenta Google Earth.

Devido à ausência de informações, nos órgãos públicos responsáveis, sobre a rede de microdrenagem, foi dimensionada e traçada uma rede fictícia para o local, com a função de ser utilizada na simulação do modelo (Figura 12). A rede foi dimensionada a partir da equação de Manning para determinação dos diâmetros da tubulação, com a aplicação do método racional para geração do escoamento, utilizando uma chuva de projeto com intensidade calculada pela equação da curva IDF (DERNARDIN; FREITAS, 1982), com tempo de concentração (t_c) igual a 5 minutos, referente ao maior tempo de concentração dos lotes, determinado pela equação de Kirpich e tempo de retorno (TR) de 25 anos. Foi adotada uma inclinação padrão para todos os trechos igual a 2%, valor próximo a inclinação das duas sub-bacias que a área faz parte, como mostrado no item 4.1.2.

Figura 12 - Rede de microdrenagem fictícia traçada para área



Fonte: Autor (2019).

O resultado do dimensionamento da rede de microdrenagem pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 - Diâmetros dos trechos dimensionados para a rede da área de estudo

Trecho	Área de contribuição (ha)	Vazão no trecho (m^3/s)	Diâmetro calculado (m)	Diâmetro adotado (m)
C1	0,99	0,34	0,45	0,50
C2	2,34	0,80	0,62	0,70
C3	7,34	2,51	0,95	1,00
C4	8,89	3,05	1,02	1,10
C5	9,71	3,33	1,06	1,10
C6	11,64	3,99	1,13	1,20
C7	12,43	4,26	1,16	1,20
C8	1,36	0,46	0,50	0,60
C12	0,58	0,20	0,37	0,40
C13	1,07	0,37	0,46	0,50
C15	0,48	0,16	0,34	0,40
C14	2,03	0,69	0,59	0,60
C9	4,08	1,40	0,76	0,80

Trecho	Área de contribuição (ha)	Vazão no trecho (m³/s)	Diâmetro calculado (m)	Diâmetro adotado (m)
C17	0,32	0,11	0,29	0,30
C10	5,15	1,76	0,83	0,90
C11	6,56	2,25	0,91	1,00
C18	18,99	6,51	1,36	1,50
C19	24,38	8,35	1,49	1,50
C36	24,73	8,47	1,50	1,50
C37	25,52	8,74	1,52	1,75
C40	0,44	0,15	0,33	0,40
C20	2,14	0,73	0,60	0,60
C39	0,24	0,08	0,26	0,30
C42	3,25	1,11	0,70	0,80
C38	28,77	9,86	1,59	1,75
C25	0,47	0,16	0,34	0,40
C26	0,90	0,31	0,43	0,50
C27	1,23	0,42	0,49	0,50
C16	1,68	0,58	0,55	0,60
C29	2,13	0,73	0,60	0,60
C30	3,46	1,18	0,72	0,80
C33	0,58	0,20	0,37	0,40
C34	1,18	0,40	0,48	0,50
C31	0,72	0,24	0,40	0,40
C32	1,37	0,47	0,51	0,60
C35	2,03	0,70	0,59	0,60
C43	6,67	2,28	0,92	1,00
C44 (exutório)	38,23	13,10	1,77	2,00

Fonte: Autor (2019).

4.5 Simulação do efeito da utilização de biorretenção

4.5.1 Simulação no lote característico

Nesta etapa, embora o lote visualmente não apresente as condições exigidas pelo Código de Urbanismo e Edificações, considerou-se a aplicação deste nessa simulação, o qual define uma área de mínima para a taxa de permeabilidade igual a 15% para áreas maiores que 2.400 m², resultando em um percentual de área impermeável igual 85%.

A área, assim como a largura (Width), foram estimados a partir de imagens de satélite do Google Earth e com o auxílio da ferramenta de medição pertencente a este. O comprimento do escoamento foi calculado pelo modelo a partir da área e da largura do lote.

Adotou-se uma inclinação de 2,29% para o lote. Essa inclinação foi adotada para todos os lotes da área de estudo, considerando a média das declividades das sub-bacias que a área faz parte, determinadas por PEDROSA (2008).

Os coeficientes de Manning foram adotados em função do tipo de uso do solo. Para área impermeável o tipo de superfície adotada foi concreto liso ($n = 0,012$) e para área permeável escolheu-se grama baixa ($n = 0,015$), segundo o manual do modelo (ROSSMAN, 2015).

A profundidade de armazenamento para área impermeável (d_{pi} , em pol.) foi calculada a partir da Equação 1, a qual relaciona essa profundidade com a declividade média da sub-bacia (S , em %) (KIDD, 1978), resultando um valor de 0,51 mm.

$$d_{pi} = 0,0303.S^{-0,49} \quad (\text{Equação 1})$$

Para a profundidade de armazenamento para área permeável ($D_{store Perv}$), foi adotado um valor de 2,5 mm, obtido a partir do estudo realizado por Barros (2015), que determinou a profundidade em função do tipo de solo da região.

O percentual de área impermeável sem armazenamento (Zero Imperv) adotado foi de 25%, segundo recomendações do manual de aplicação do modelo (GIRONAS; ROESNER; DAVIS, 2009).

O método de infiltração do solo adotado foi o do Soil Conservation Service (SCS), que, portanto, necessita do parâmetro Curve Number (CN) para a modelagem. O CN adotado para a área permeável foi de 74, referente a espaços abertos em boas condições em solo de grupo hidrológico C, o qual foi considerado para toda área de simulação de acordo com o item 4.1.2 (USDA, 1986).

Os parâmetros adotados para simulação no lote característico, podem ser vistos na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros adotados para o lote no modelo

Parâmetros (no modelo) (unidade)	Valores adotados
Área (Area) (ha):	0,3
Largura (Width) (m):	80
Comprimento do fluxo (Flow Length) (m):	37,5
Declividade (Slope) (%):	2,29
Percentual impermeável (Imperv.) (%):	85
Coefficiente de rugosidade de Manning para fração impermeável (N Imperv.):	0,012
Coefficiente de rugosidade de Manning para fração permeável (N Perv.):	0,015
Armazenamento em depressões para sub-área impermeável (Dstore Imperv.) (mm):	0,51
Armazenamento em depressões para sub-área permeável (Dstore Perv.) (mm):	2,5
Porcentagem de área impermeável sem armazenamento em depressões (Zero Imperv) (%):	25

Fonte: Autor (2019).

Para as simulações seguintes, onde foi aplicado um dispositivo de biorretenção, foi considerada uma área equivalente a 7,5% da área total do lote, resultando em 225 m². Esse valor foi adotado como sendo a metade da área prevista no Código de Urbanismo e Edificações para taxa de permeabilidade, isso foi feito para mostrar que alternativas, como a biorretenção, necessitam de uma menor área para ter o efeito equivalente ou superior à aplicação da taxa de permeabilidade.

4.5.1.1 Altura das camadas da biorretenção x Redução Vazão de pico

As simulações foram realizadas variando a altura de uma das camadas e deixando as demais camadas com uma altura fixada, foram considerados 3 casos e as ordens das camadas não se alteraram. As alturas das camadas da biorretenção do CTEC foram utilizadas como referências iniciais nessas simulações, onde esses valores foram aplicados nas alturas fixadas.

Inicialmente realizou-se a simulação da biorretenção variando a altura da camada de armazenamento, enquanto fixou-se as alturas da camada de solo e da superfície (berma). Posteriormente, fixou-se a altura da camada de armazenamento e da superfície, variando a altura da camada de solo. E, por fim, foi realizada a variação da altura da camada superficial (altura da berma) com as alturas das camadas de armazenamento e solo fixadas.

O intuito dessa etapa foi avaliar a resposta da variação das diferentes camadas da biorretenção na redução da vazão de pico gerada pelo lote. Então, adotou-se um dreno de fundo com diâmetro fixo igual a 100 mm. A Tabela 6 ilustra como ocorreram as variações nas alturas das camadas.

Tabela 6 - Variação das alturas das camadas nos diferentes casos

Caso 1		Caso 2		Caso 3	
Camada	Altura (mm)	Camada	Altura (mm)	Camada	Altura (mm)
Superficial (Fixa)	100	Superficial (Fixa)	100	Superficial (Variável)	100
Solo (Fixa)	400	Solo (Variável)	200		200
Armazenamento (Variável)	400		300		300
	600		400		400
	800		500		500
	1000	600	Solo (Fixa)	200	
1200	Armazenamento (Fixa)	800	Armazenamento (Fixa)	800	

Fonte: Autor (2019).

4.5.1.2 Diâmetro do dreno de fundo x Redução da vazão de pico

Foram realizadas simulações com diferentes diâmetros de dreno para uma biorretenção, sem variar as configurações de altura de cada camada, com o intuito de avaliar o efeito sobre a vazão de pico gerada pelo lote, em função apenas da variação do diâmetro do dreno.

O modelo recebe como dado de entrada o valor do coeficiente de dreno (em função do seu diâmetro). Portanto, foi calculado inicialmente o coeficiente de dreno (C_{LID}), a partir da Equação 2, em função da gravidade (g), em m/s^2 ; do coeficiente de descarga do orifício (C_d), unidimensional, variando entre 0,6 a 0,65 (valor adotado = 0,6); área do orifício (A_{orif}), em m^2 e da área superficial do dispositivo LID (A_{LID}) (CHI, 2018).

$$C_{LID} = 160997 \sqrt{g} \cdot C_d \cdot \frac{A_{orif}}{A_{LID}} \quad (\text{Equação 2})$$

Portanto, a partir da área da biorretenção, adotada igual a 225 m^2 (7,5% da área total do lote característico), foram calculados os coeficientes para os respectivos diâmetros do dreno (Tabela 7). Os quais foram utilizados como dado de entrada nas simulações.

Tabela 7 - Diâmetros e coeficientes de dreno para entrada no modelo SWMM

Diâmetro (mm)	C_{LID}
50	2,64
100	10,56
150	23,76
200	42,24
250	66,01

Fonte: Autor (2019).

4.5.1.3 Variação da área impermeabilizada no lote e da área de aplicação da biorretenção

A simulação foi realizada levando-se em conta a substituição de uma parcela da área ocupada pelo lote característico, por uma biorretenção com diferentes áreas, menores do que as previstas pelo código de edificações urbanismo de Maceió, para a aplicação da taxa mínima de permeabilidade. Os resultados foram comparados com o cenário de aplicação integral do código (cenário 1).

Nessa etapa, as alturas das camadas de biorretenção e o dreno de fundo não variaram, e foram definidos em função dos resultados das duas etapas anteriores. Onde determinou-se os valores das alturas das camadas e do diâmetro do dreno como aqueles que produziram uma vazão de pico igual ou menor ao cenário de comparação (cenário 1).

Portanto, considerou-se os seguintes cenários no lote:

1) Lote seguindo o código de urbanismo e adotando uma área para taxa de permeabilidade igual a 15% da área do lote (sem a aplicação de nenhuma técnica compensatória) e considerando os outros 85% da área como solo impermeabilizado;

2) Lote impermeabilizando 92,5% da área, porém aplicando o dispositivo de biorretenção nos 7,5% restantes;

3) Lote com uma impermeabilização de 95% e aplicando biorretenção nos demais 5% da área;

4) Impermeabilização de 97% e aplicando biorretenção em 3%;

5) Impermeabilização de 99% do lote, com aplicação de biorretenção em 1% da área (Tabela 8).

Esses cenários foram aplicados com o intuito de verificar até quais valores mínimo de área, adotados na biorretenção, conseguiriam se equivaler ao cenário de aplicação integral do código (cenário 1).

Tabela 8 - Cenários da variação de área da biorretenção no lote

Cenário	Área impermeável (m²)	Área da biorretenção (m²)	Área permeável sem biorretenção (m²)
1	2550	-	450
2	2775	225	-
3	2850	150	-
4	2910	90	-
5	2970	30	-

4.5.2 Simulação na bacia hidrográfica (Gruta de Lourdes)

A área de estudo escolhida, fração do bairro da Gruta de Lourdes, Maceió-AL, foi dividida em 51 sub-bacias (lotes), seguindo a divisão das quadras da área (Figura 12). Onde foram levantados, para cada uma destas, os seguintes parâmetros:

- **Área (ha):** estimada a partir de imagens de satélite do Google Earth e com o auxílio da ferramenta de medição pertencente a este, assim como no caso do lote característico. Porém, além da estimativa da área total, foram calculados os percentuais da área ocupada por casas, por prédios (área impermeável), áreas verdes (terrenos baldios e praças) e estacionamentos;
- **Comprimento (m):** valor obtido de forma semelhante a área, a partir de imagens de satélite do Google Earth e de sua ferramenta de medição;
- **Declividade (%):** nesse caso, foi adotado um valor padrão de 2,29% para todas as sub-bacias, como explicado no item 4.1.2;
- **Porcentagem de área impermeável (%):** considerou-se área impermeável as áreas ocupadas por prédios, nos lotes em que não existiam esse tipo de construção, o percentual de área impermeável foi considerado zero;
- **Coefficiente de Manning (n):** foram adotados em função do tipo de uso do solo. Para áreas permeáveis, com diferentes tipos de uso do solo, esse coeficiente foi calculado a partir da média ponderada em função das áreas. No caso das áreas impermeáveis, o tipo de superfície adotada foi concreto liso, com $n = 0,012$. Os valores foram adotados seguindo o recomendado pelo manual do PCSWMM (ROSSMAN, 2015);
- **Volume de armazenamento da fração impermeável (mm):** Assim como na simulação do lote característico, a profundidade de armazenamento para área impermeável (dpi) igual a 0,51 mm, calculado a partir da Equação 1, utilizada por Kidd (1978), a qual é calculada em função da declividade média (S) da sub-bacia.

$$dpi = 0,0303.S^{-0,49} \quad (\text{Equação 1})$$

- **Volume de armazenamento da fração impermeável (mm):** para a profundidade de armazenamento para área permeável (Dstore Perv), adotou-se um valor de 2,5 mm, obtido pelo estudo realizado por Barros (2015), que determinou a profundidade em função do tipo de solo da região.
- **Percentual de área impermeável sem armazenamento:** o percentual de área impermeável sem armazenamento (Zero Imperv) adotado foi de 25%, seguindo a recomendação de Gironás et al. (2009);

Curve Number (CN): mais uma vez, de forma análoga ao levantamento feito para o lote característico, adotou-se o método Soil Conservation Service (SCS) para infiltração, que, portanto, necessita do parâmetro Curve Number (CN) para a modelagem. O CN adotado para a área permeável foi adotado a partir da ponderação, em função da área, dos tipos de uso de solo existentes em cada lote. Foram adotados os valores de CN de 83, 74 e 98 para áreas residenciais (casas), áreas verdes e estacionamentos, respectivamente (TUCCI, 1993).

Na Tabela 9 podem ser vistos os parâmetros adotados em cada sub-bacia (lotes).

Tabela 9 - Parâmetros adotados em cada sub-bacia

Sub-bacia	Área (ha)	Comprimento (m)	Área impermeável (%)	n Manning (permeável)	CN
S1	0,5206	81,34	56,47%	0,0150	83,00
S2	0,6290	196,56	0,00%	0,0150	83,00
S3	0,4660	172,59	0,00%	0,0150	83,00
S4	0,7240	129,29	11,40%	0,0465	84,09
S5	1,3961	258,54	3,22%	0,0519	81,52
S6	1,5531	310,62	10,95%	0,0150	83,00
S7	1,9323	316,77	9,32%	0,0150	83,00
S8	0,6560	109,33	9,45%	0,0150	83,00
S9	0,7000	118,64	37,86%	0,0150	83,00
S10	0,7500	125,00	52,80%	0,0150	83,00
S11	0,2100	84,00	0,00%	0,2400	74,00
S12	2,1000	323,08	42,29%	0,0150	83,00
S13	0,5800	145,00	6,38%	0,0150	83,00
S14	0,4900	140,00	67,35%	0,0150	83,00
S15	0,4760	136,00	69,33%	0,0150	83,00
S16	0,4800	137,14	68,75%	0,0150	83,00
S17	0,3150	73,26	14,29%	0,0150	83,00
S18	0,4500	81,82	6,44%	0,0150	83,00
S19	1,2000	206,90	21,50%	0,0255	82,58
S20	0,3650	117,74	0,00%	0,0366	82,14

Sub-bacia	Área (ha)	Comprimento (m)	Área impermeável (%)	n Manning (permeável)	CN
S21	0,1400	41,18	0,00%	0,0150	83,00
S22	0,1200	36,36	0,00%	0,2400	98,00
S23	0,1250	13,89	0,00%	0,2400	74,00
S24	0,3300	94,29	0,00%	0,0150	83,00
S25	0,3120	89,14	0,00%	0,0150	83,00
S26	0,3300	94,29	60,61%	0,0150	83,00
S27	0,3230	92,29	63,47%	0,0150	83,00
S28	0,9630	175,09	0,00%	0,0150	83,00
S29	1,4800	148,00	18,04%	0,0614	81,15
S30	0,6100	101,67	15,57%	0,0150	83,00
S31	0,5790	79,32	22,21%	0,0625	81,10
S32	0,6000	80,00	0,00%	0,0150	83,00
S33	0,5730	75,39	0,00%	0,0150	83,00
S34	0,6255	93,36	19,34%	0,0150	83,00
S35	0,4180	74,64	0,00%	0,0150	83,00
S36	1,3150	230,70	0,00%	0,0196	82,82
S37	0,1420	45,81	0,00%	0,0150	83,00
S38	0,2920	78,92	0,00%	0,0150	83,00
S39	0,2400	100,00	0,00%	0,0150	83,00
S40	0,8000	160,00	0,00%	0,0713	80,75
S41	0,8230	48,41	0,00%	0,0150	83,00
S42	0,7900	45,40	0,00%	0,0150	83,00
S43	2,6600	140,00	21,43%	0,1183	88,40
S44	0,6250	135,87	21,12%	0,0150	83,00
S45	0,3550	32,27	0,00%	0,0150	83,00
S46	0,7890	61,16	3,74%	0,0230	82,68
S47	0,8640	59,59	7,18%	0,0150	83,00
S48	0,9030	62,28	7,75%	0,0150	83,00
S49	0,4400	31,43	0,00%	0,0150	83,00
S50	0,2400	80,00	14,58%	0,0150	83,00
S51	3,6000	215,57	31,58%	0,0883	87,88

Fonte: Autor (2019).

Devido ao crescente perfil de verticalização do bairro, foi considerado um cenário futuro de substituição da ocupação residencial horizontal pela vertical de 60%. Esse perfil residencial vertical, tem como característica a total impermeabilização do solo (em casos mais extremos) (LÔBO, 2018). E, portanto, ocorreu uma variação em alguns parâmetros adotados no modelo, que levavam em consideração ponderações das áreas permeáveis e impermeáveis, o resultado dessa mudança no cenário pode ser visto na Tabela 10.

Tabela 10 - Parâmetros adotados em cada sub-bacia para o cenário futuro

Sub-bacia	Área (ha)	Comprimento (m)	Área impermeável (%)	n Manning (permeável)	CN
S1	0,5206	81,34	82,59%	0,0150	83,00
S2	0,6290	196,56	60,00%	0,0150	83,00
S3	0,4660	172,59	60,00%	0,0150	83,00
S4	0,7240	129,29	57,11%	0,0802	85,25
S5	1,3961	258,54	51,77%	0,0890	80,04
S6	1,5531	310,62	64,38%	0,0150	83,00
S7	1,9323	316,77	63,73%	0,0150	83,00
S8	0,6560	109,33	63,78%	0,0150	83,00
S9	0,7000	118,64	75,14%	0,0150	83,00
S10	0,7500	125,00	81,12%	0,0150	83,00
S11	0,2100	84,00	0,00%	0,2400	74,00
S12	2,1000	323,08	76,91%	0,0150	83,00
S13	0,5800	145,00	62,55%	0,0150	83,00
S14	0,4900	140,00	86,94%	0,0150	83,00
S15	0,4760	136,00	87,73%	0,0150	83,00
S16	0,4800	137,14	87,50%	0,0150	83,00
S17	0,3150	73,26	65,71%	0,0150	83,00
S18	0,4500	81,82	62,58%	0,0150	83,00
S19	1,2000	206,90	66,40%	0,0396	82,02
S20	0,3650	117,74	54,25%	0,0622	81,11
S21	0,1400	41,18	60,00%	0,0150	83,00
S22	0,1200	36,36	0,00%	0,2400	98,00
S23	0,1250	13,89	0,00%	0,2400	74,00
S24	0,3300	94,29	60,00%	0,0150	83,00
S25	0,3120	89,14	60,00%	0,0150	83,00
S26	0,3300	94,29	84,24%	0,0150	83,00
S27	0,3230	92,29	85,39%	0,0150	83,00
S28	0,9630	175,09	60,00%	0,0150	83,00
S29	1,4800	148,00	57,08%	0,1036	79,46
S30	0,6100	101,67	66,23%	0,0150	83,00
S31	0,5790	79,32	59,04%	0,1051	79,39
S32	0,6000	80,00	60,00%	0,0150	83,00
S33	0,5730	75,39	60,00%	0,0150	83,00
S34	0,6255	93,36	67,74%	0,0150	83,00
S35	0,4180	74,64	60,00%	0,0150	83,00
S36	1,3150	230,70	58,77%	0,0262	82,55
S37	0,1420	45,81	60,00%	0,0150	83,00
S38	0,2920	78,92	60,00%	0,0150	83,00
S39	0,2400	100,00	60,00%	0,0150	83,00
S40	0,8000	160,00	45,00%	0,1173	78,91
S41	0,8230	48,41	60,00%	0,0150	83,00
S42	0,7900	45,40	60,00%	0,0150	83,00
S43	2,6600	140,00	46,92%	0,1680	90,99
S44	0,6250	135,87	68,45%	0,0150	83,00
S45	0,3550	32,27	60,00%	0,0150	83,00
S46	0,7890	61,16	59,44%	0,0340	82,24
S47	0,8640	59,59	62,87%	0,0150	83,00
S48	0,9030	62,28	63,10%	0,0150	83,00
S49	0,4400	31,43	60,00%	0,0150	83,00
S50	0,2400	80,00	65,83%	0,0150	83,00
S51	3,6000	215,57	59,27%	0,1381	91,20

Nessa etapa da simulação, as biorretenções foram implementadas nas sub-bacias (quadras) que possuíam áreas impermeáveis, com perfil de ocupação vertical. Para tal, foram consideradas as alturas das camadas e diâmetro do dreno a partir dos resultados observados no item 4.5.1.

O valor da área superficial, para as biorretenções instaladas nas sub-bacias, foi obtido em função da área impermeável (ocupada por edifícios) dos lotes, para isso, tomou-se como base a metade do valor recomendando pelo código de edificações e urbanismo de Maceió-AL, para a taxa de permeabilidade, resultando nas seguintes áreas:

- 2,5% da área impermeável, quando: $1.800 \text{ m}^2 \geq \text{área impermeável} > 1.200 \text{ m}^2$;
- 5% da área impermeável, quando: $2.400 \text{ m}^2 \geq \text{área impermeável} > 1.800 \text{ m}^2$;
- 7,5% da área impermeável, quando: $\text{área impermeável} > 2.400 \text{ m}^2$.

Em casos onde a quadra possuía área impermeável inferior a 1.200 m^2 não foi aplicada biorretenção.

As biorretenções foram aplicadas em substituição a uma fração da área impermeável de cada sub-bacia. Portanto, fazendo-se necessário recalcular seu novo comprimento e o percentual da área impermeável, quando necessário, como sugere o manual (ROSSMAN, 2015).

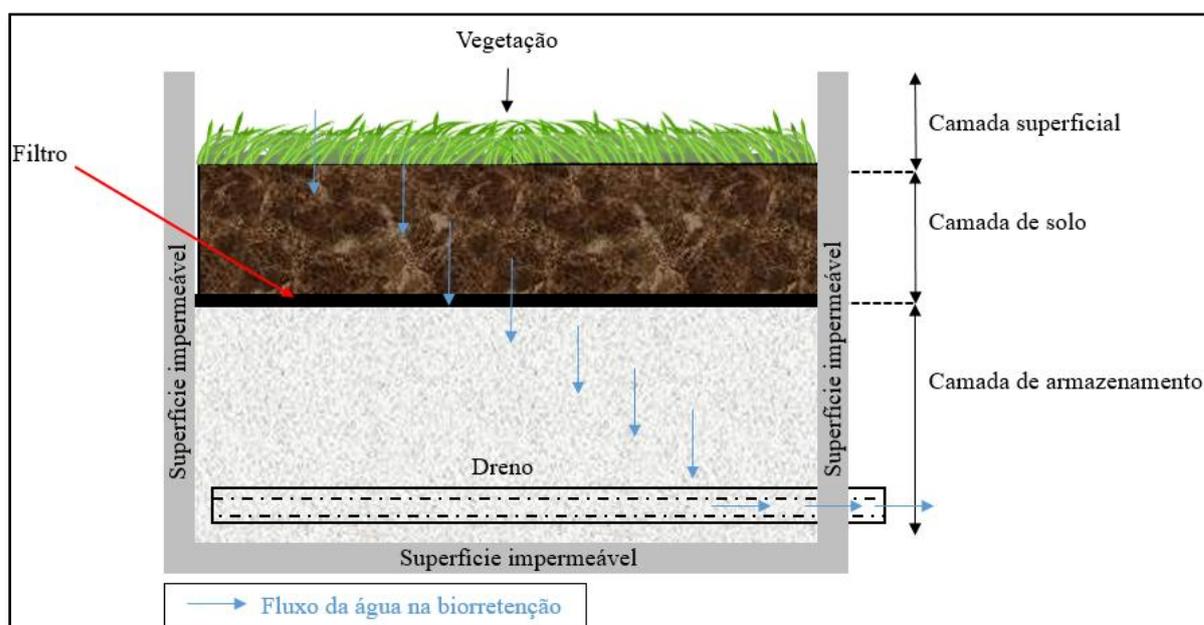
5. RESULTADOS

5.1 Simulação no lote característico

As simulações foram realizadas variando algumas características da biorretenção, como as alturas de suas camadas, o diâmetro do dreno de fundo e a área superficial. O intuito dessas simulações foi verificar a relação da variação dessas características com a redução da vazão de pico.

Outra importante característica do dispositivo LID, nessa simulação, foi a consideração do mesmo estar sobre uma superfície impermeável (laje), portanto, com a taxa de infiltração no solo igual a 0. No entanto, foi considerada a utilização de um dreno no fundo da camada de armazenamento Figura 13.

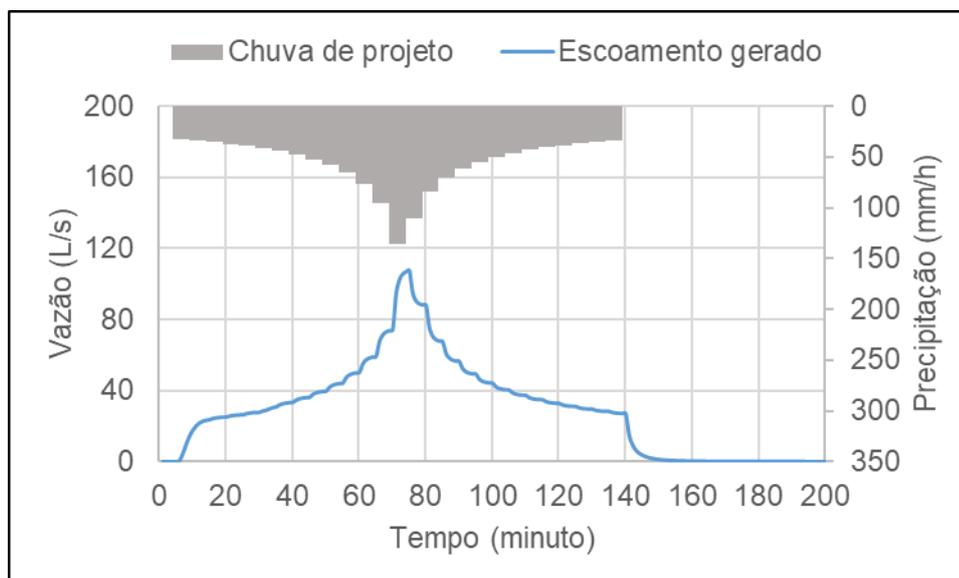
Figura 13 - Esquema da biorretenção considerada nas simulações



Fonte: Autor (2019).

Os diferentes cenários simulados nessa etapa foram comparados com o cenário de aplicação na íntegra do Código de Edificações e Urbanismo de Maceió-AL, com 85% de impermeabilização da área do lote e 15% da área com solo livre de impermeabilização, para os tempos de retorno de 10, 5 e 2 anos. A Figura 14 mostra o perfil de escoamento gerado para o tempo de retorno de 10 anos (TR – 10 Anos). Os tempos de retorno escolhidos produziram vazões de pico iguais a 107,7, 87,79 e 66,96 L/s para os tempos de retorno de 10, 5 e 2 anos, respectivamente.

Figura 14 - Hidrogramas do cenário de aplicação do Cód. de Edif. e Urb. de Maceió-AL para o tempo de retorno de 10 anos



Fonte: Autor (2019).

5.1.1 Altura das camadas da biorretenção x redução vazão de pico (Qp)

As simulações para a variação das alturas das camadas da biorretenção foram compostas por 3 casos, como mostrado na Tabela 6. Nessas simulações, foi adotada uma área superficial para a biorretenção igual a 7,5% da área total do lote característico (3.000 m²), ou seja, 225 m².

5.1.1.1 Variação da altura na camada de armazenamento

Foram realizadas simulações com as seguintes alturas da camada de armazenamento: 400, 600, 800, 900 e 1200 mm. As outras duas camadas, superfície e solo, permaneceram com os valores das alturas fixados, em 100 e 400 mm, respectivamente. E o foi adotado um diâmetro para o dreno do fundo igual a 100 mm.

Os resultados dessas simulações, foram comparados com o cenário de aplicação da taxa de permeabilidade em 15% do total do lote. A Tabela 11 apresenta os resultados dessas simulações para os diferentes tempos de retorno.

Tabela 11 - Resultados das simulações com variação da altura da camada de armazenamento

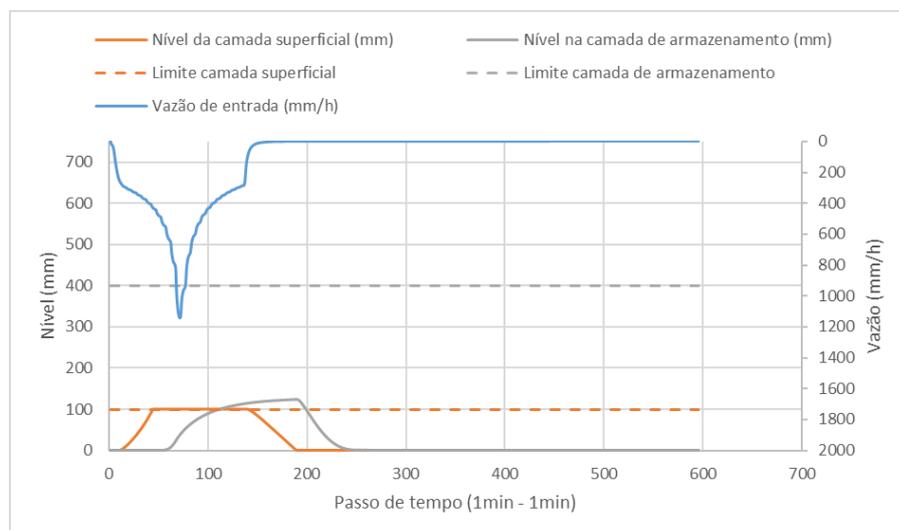
Vazão de referência (L/s)	107,67		87,79		66,96	
Altura da camada de armazenamento (mm)	TR - 10 anos		TR - 5 anos		TR - 2 anos	
	Qp(L/s)	Redução da Qp (%)	Qp (L/s)	Redução da Qp (%)	Qp (L/s)	Redução da Qp (%)
400	109,92	-2,05%	89,54	-1,95%	67,74	-1,16%
600	109,92	-2,05%	89,54	-1,95%	67,74	-1,16%
800	109,92	-2,05%	89,54	-1,95%	67,74	-1,16%
1000	109,92	-2,05%	89,54	-1,95%	67,74	-1,16%
1200	109,92	-2,05%	89,54	-1,95%	67,74	-1,16%

Fonte: Autor (2019).

Como é possível observar, a variação da altura da camada de armazenamento da biorretenção não faz com que ocorra alteração na vazão de pico gerada pelos eventos de projetos simulados. Onde, inclusive, a vazão de pico gerada quando aplicada a biorretenção é superior à vazão produzida pelo lote com aplicação da taxa de permeabilidade de 15% da área total.

Esse fato pode ser atribuído as características do substrato da biorretenção, que limitam a percolação da água no dispositivo. A Figura 15 ilustra o que aconteceu, a camada de solo não absorveu o escoamento em tempo suficiente para amortecer o pico da vazão, ou seja, o nível da camada superficial já tinha atingindo o seu limite quando o pico do evento chegou ao dispositivo, fazendo com que a camada de armazenamento perdesse muito da sua efetividade, uma vez que no momento de pico, a camada de armazenamento ainda estava iniciando o seu processo de enchimento.

Figura 15 - Níveis no interior da biorretenção durante o evento com TR – 2 anos



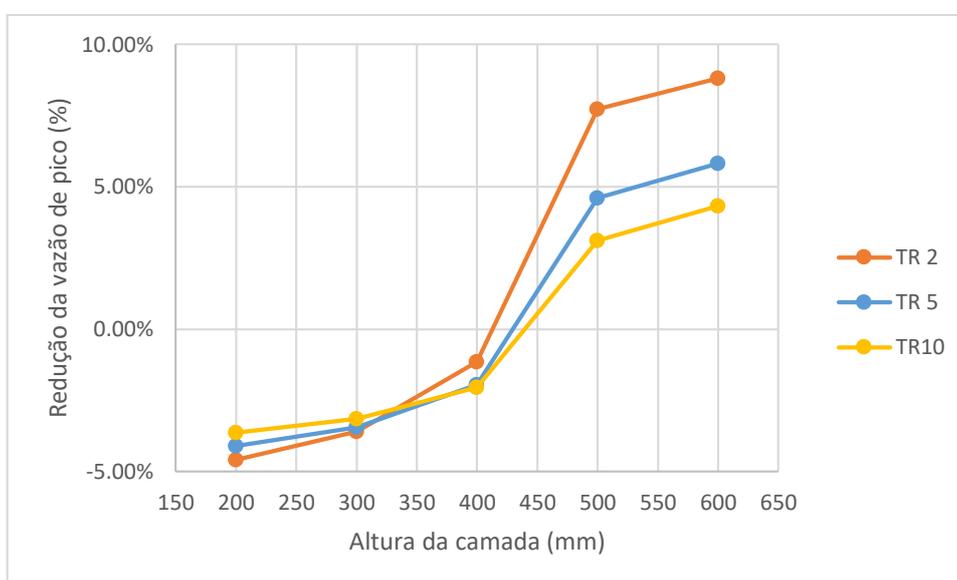
Fonte: Autor (2019).

5.1.1.2 Variação da altura na camada de solo

Para camada de solo, foram realizadas simulações com as seguintes alturas: 200, 300, 400, 500 e 600 mm. As outras duas camadas, superfície e armazenamento, permaneceram com os valores das alturas fixados, em 100 e 400 mm, respectivamente. E o foi adotado um diâmetro para o dreno do fundo igual a 100 mm.

Os resultados da redução da vazão de pico, em comparação ao cenário de aplicação do código de edificações e urbanismo, podem ser vistos abaixo, na Figura 16.

Figura 16 - Resultados das simulações com variação da altura da camada de solo



Fonte: Autor (2019).

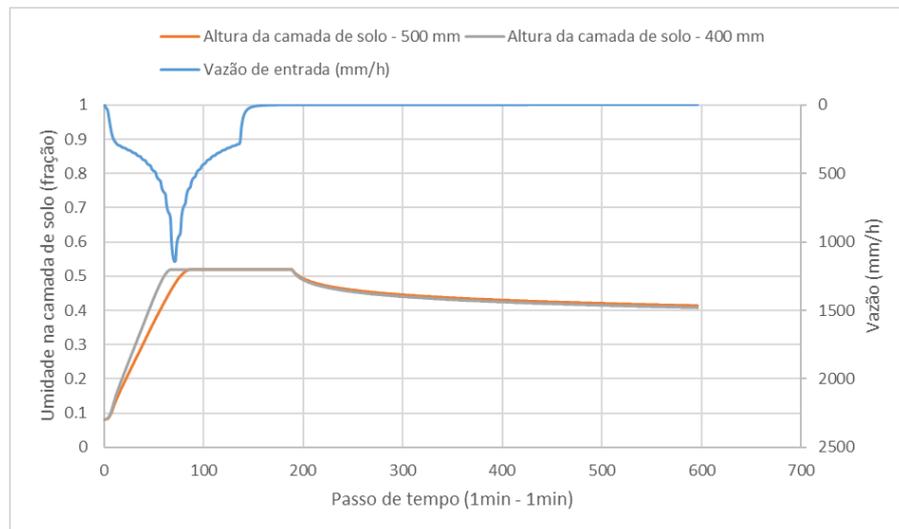
Os resultados obtidos nessa etapa indicam uma pequena redução da vazão de pico com o aumento da altura da camada de solo, onde essa vazão atinge valores menores aos de referência na altura de 500 mm, para os eventos com tempo de retorno de 10, 5 e 2 anos.

O aumento da altura da camada, faz com que ocorra um aumento no volume de vazios total, consequentemente aumentando o tempo que a camada leva para atingir a saturação, fazendo com que o solo absorva um volume maior de água. Isso pode ser observado na Figura 17, onde a camada com 400 mm de altura atinge a saturação em um tempo menor que a camada de 500 mm.

Embora ocorra a redução da vazão de pico, em comparação ao cenário de aplicação de 15% da área total do lote para taxa de permeabilidade, a redução é pouco significativa. Porém,

vale levar em consideração que para a aplicação de biorretenção foi utilizado metade da área (7,5% da área total do lote), em comparação a aplicação da taxa de permeabilidade.

Figura 17 - Umidade na camada de solo da biorretenção durante o evento com TR – 2 anos, paras alturas de 400 e 500 mm.



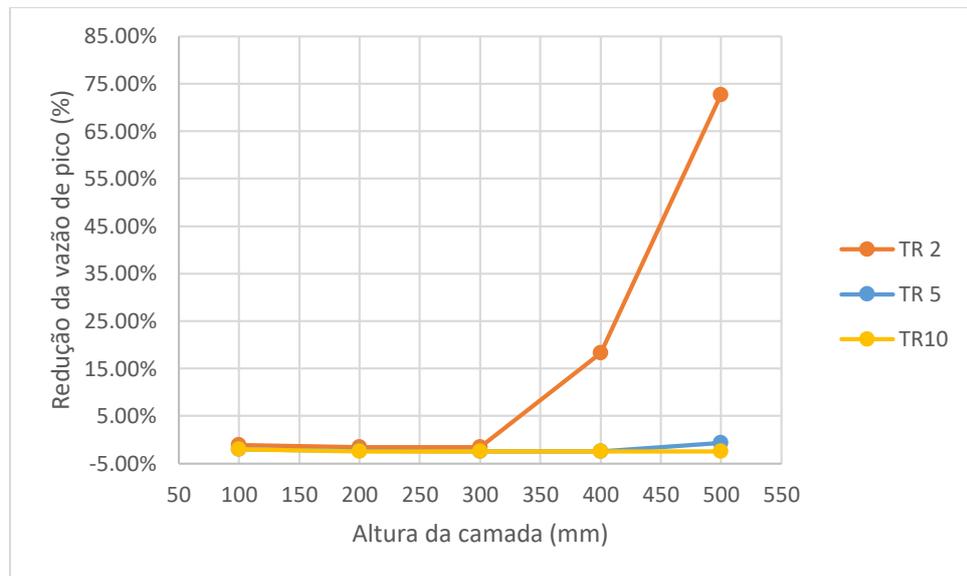
Fonte: Autor (2019).

5.1.1.3 Variação da altura na camada superficial (altura da berma)

Nessa etapa, a variação da altura ocorreu na camada superficial, na altura da berma, os demais parâmetros e alturas ficaram fixados, sendo a altura da camada de solo igual a 400 mm e a altura da camada de armazenamento igual a 800 mm.

As alturas da berma simuladas, foram: 100, 200, 300, 400 e 500 mm. E seus respectivos resultados podem ser vistos a seguir (Figura 18).

Figura 18 - Resultados das simulações com variação da altura da camada superficial

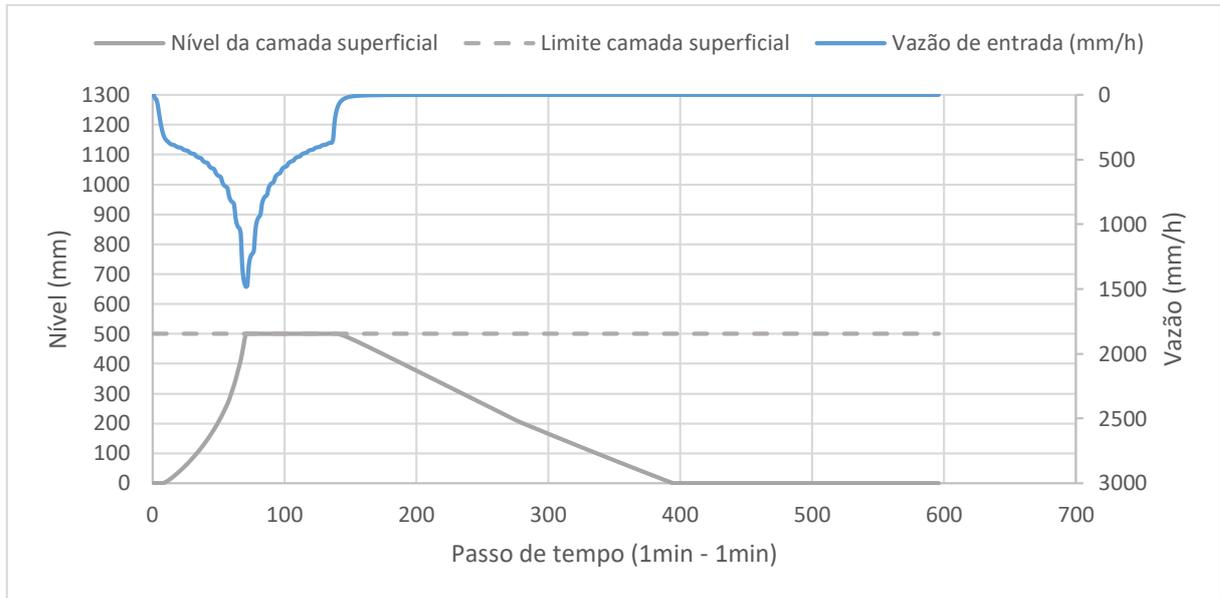


Fonte: Autor (2019).

Como pode ser visto, os resultados mostram-se mais positivos quanto a redução da vazão de pico, onde é possível ver um aumento mais acentuado na redução da vazão de pico em função do aumento da altura da camada para o tempo de retorno de 2 anos. Enquanto que para os tempos de retorno de 10 e 5 anos, não foi possível observar a redução da vazão de pico comparado ao cenário de aplicação da taxa de permeabilidade em 15% da área do lote.

Esse comportamento do dispositivo para os eventos de tempo de retorno maiores, 10 e 5 anos, se deu porque as alturas da camada superficial simuladas no estudo não foram suficientes para absorver o escoamento antes do momento de pico, ou seja, quando o dispositivo recebeu o pico do escoamento gerado pelo lote, o volume da camada de armazenamento já tinha atingido o seu ponto máximo Figura 19.

Figura 19 - Nível da camada superficial da biorretenção durante o evento com TR – 5 anos



Fonte: Autor (2019).

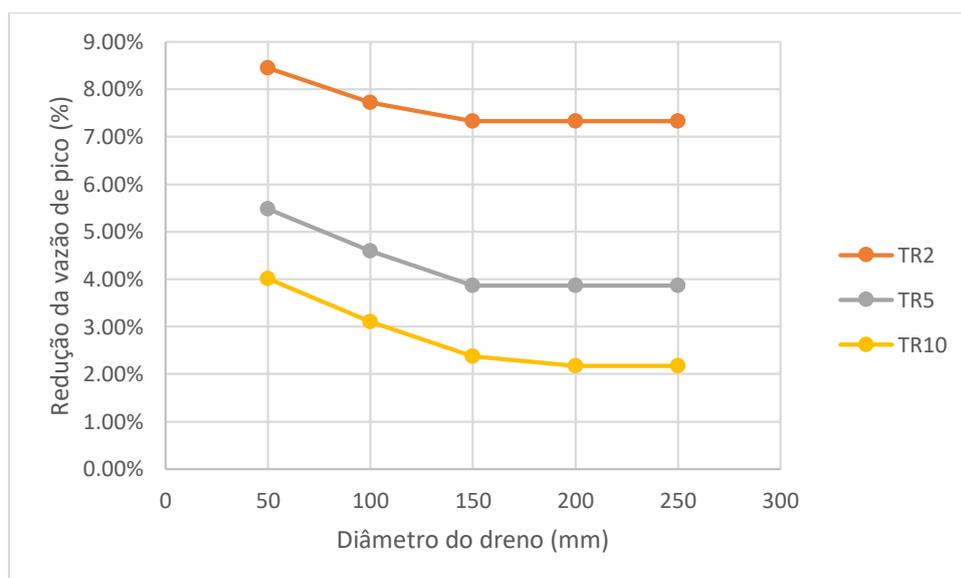
Ao contrário das camadas anteriores, a camada superficial apresenta um potencial de armazenamento maior, pois não é preenchida com materiais (como solo, cascalhos ou pedregulhos). E isso é refletido no aumento da capacidade em amortecer as vazões geradas pelo lote.

5.1.2 Diâmetro do dreno de fundo x redução da vazão de pico

Nessa etapa, todos os parâmetros do módulo da biorretenção no modelo foram fixados, com exceção do coeficiente de dreno. As alturas das camadas foram fixadas em 100, 500 e 400 mm, para camada superficial, solo e armazenamento, respectivamente. Esses valores de altura foram determinados em função das simulações anteriores (item 5.1.1), onde foram escolhidos os menores valores de altura para os maiores tempos de retorno, que conseguiram apresentar redução da vazão de pico em comparação ao cenário de aplicação de 15% da área para taxa de permeabilidade.

As simulações foram realizadas para os seguintes diâmetros de dreno: 50, 100, 150, 200 e 250 mm. Onde foram utilizados como dado de entrada no modelo seus respectivos coeficientes de dreno, em função do diâmetro (Tabela 7). Os resultados podem ser vistos na Figura 20.

Figura 20 - Resultados das simulações com variação do diâmetro do dreno de fundo

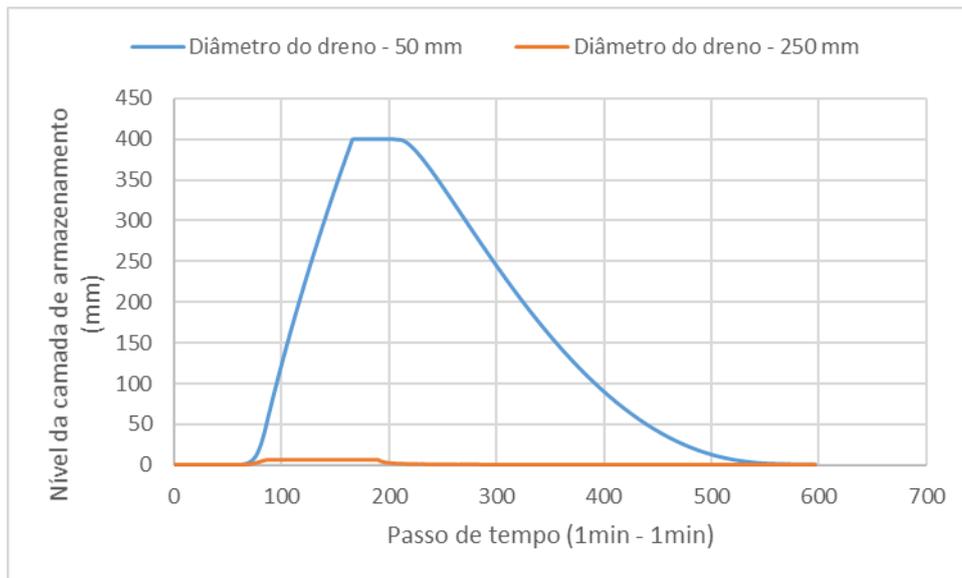


Fonte: Autor (2019).

Os resultados indicam que quanto menor é o diâmetro do dreno, maior é a redução da vazão de pico nas condições simuladas. Este apontamento parece razoável, uma vez que, quanto menor o diâmetro do dreno, maior sua capacidade em regularizar/reduzir o escoamento, em condições que o dispositivo não esteja transbordando.

Diâmetros menores, consequentemente coeficientes de dreno menores, fazem com que um volume maior de água seja retido no dispositivo, aproveitamento seu volume útil e possibilitando a redução da vazão de pico (Figura 21).

Figura 21 - Nível da camada de armazenamento da biorretenção durante o evento com TR – 2 anos para os diâmetros de dreno iguais a 50 e 250 mm.



Fonte: Autor (2019).

5.1.3 Variação da área impermeabilizada no lote e da área de aplicação da biorretenção

Nessa etapa, foram avaliados diferentes conjuntos de área impermeável e área da biorretenção. Os casos levaram em consideração a área do lote característico com variação entre 99, 97, 95 e 93% de área impermeável e 1, 3, 5 e 7,5 % de área de biorretenção, respectivamente. Esses casos foram comparados com a situação de aplicação, na íntegra, do código de edificações e urbanismo de Maceió-AL (Figura 14).

Para essa simulação, as alturas das camadas foram fixadas em 100, 500 e 400 mm, para camada superficial, solo e armazenamento, respectivamente. Esses valores de altura foram determinados em função das simulações anteriores (item 5.1.1), que conseguiram apresentar redução da vazão de pico em comparação ao cenário de aplicação de 15% da área para taxa de permeabilidade. Os parâmetros podem ser vistos na Tabela 12.

Tabela 12 - Parâmetros adotados da biorretenção na variação das áreas

Superfície	
Altura da berma (mm)	100
Fração do volume de vegetação (fração)	0,1
Rugosidade da superfície (n de Manning)	0
Declividade da superfície (%)	0
Solo	
Espessura (mm)	500
Porosidade (fração)	0,52
Capacidade de campo (fração)	0,15
Ponto de murcha (fração)	0,08
Condutividade (mm/h)	119
Curva de condutividade	39,3
Capilaridade do solo (mm)	48
Armazenamento	
Espessura (mm)	400
Volume de vazios (fração)	0,435
Taxa de infiltração (mm/h)	0
Fator de colmatção	0

Fonte: Autor (2019).

Quanto ao diâmetro do dreno, adotado nessa etapa da simulação, foi determinado um fator em função da área da biorretenção, igual a 0,22 mm/m². Este fator obtido do item 5.1.2, o qual observou-se que um dreno de 50 mm de diâmetro conseguiu reduzir a vazão de pico para

uma biorretenção de 225 m². Os diâmetros adotados e seus coeficientes de dreno, para cada área de biorretenção podem ser vistos na Tabela 13.

Tabela 13 - Diâmetros e coeficientes de dreno adotados em cada biorretenção

Área da biorretenção (m ²)	Diâmetro do dreno calculado (mm)	Diâmetro do dreno adotado (mm)	Coefficiente de dreno (mm/h)
225	49,5	50	2,64
150	33	50	3,96
90	19,8	20	1,65
30	6,6	10	0,79

Fonte: Autor (2019).

O resultado das simulações para as diferentes áreas, em função da redução da vazão de pico em cada caso, pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados das simulações com variação da área superficial da biorretenção

Vazão de referência (L/s)	107,67		87,79		66,96	
Área da biorretenção (% da área total do lote)	TR10		TR 5		TR 2	
	Qp (L/s)	Redução da Qp (%)	Qp (L/s)	Redução da Qp (%)	Qp (L/s)	Redução da Qp (%)
7,50%	102,59	4,95%	82,48	6,44%	61,16	43,55%
5,00%	112,56	-4,34%	92,43	-5,02%	71,21	23,29%
3,00%	112,03	-3,90%	92,13	-4,71%	71,09	23,50%
1,00%	112,42	-4,22%	92,44	-5,03%	71,31	23,10%

Fonte: Autor (2019).

Como é possível observar, para os tempos de retorno maiores (10 e 5 anos), apenas a biorretenção com área superficial equivalente a 7,5% da área total do lote foi capaz de reduzir a vazão de pico, de forma a gerar um escoamento menor em comparação a situação de aplicação de 15% da área total do lote para a taxa de permeabilidade, exigido pelo código de urbanismo e edificações para áreas maiores que 2.400 m².

Para o evento com tempo de retorno de 2 anos, todas as condições de áreas simuladas foram capazes de reduzir a vazão gerada em comparação ao cenário de referência. Os valores de redução variaram de 23,10% a 43,55%, da situação com menor área para a de maior área.

Esse resultado é plausível, pois, embora exista a biorretenção, a área impermeabilizada aumenta, fazendo com que a vazão gerada aumente e, como a área da biorretenção é menor, esta não consegue amortecer tal vazão.

Com esse resultado, consegue-se observar que mesmo utilizando uma área menor do que a prevista pelo código de edificações e urbanismo, é possível observar uma redução na vazão de pico a partir da aplicação de uma biorretenção sobre uma área com laje. Esse resultado mostra que é possível aumentar a área útil do lote, como por exemplo, para a utilização deste espaço para garagem. Esse ganho de área útil no lote, permitindo a utilização de essa área para outros fins, como o aumento das áreas de garagem.

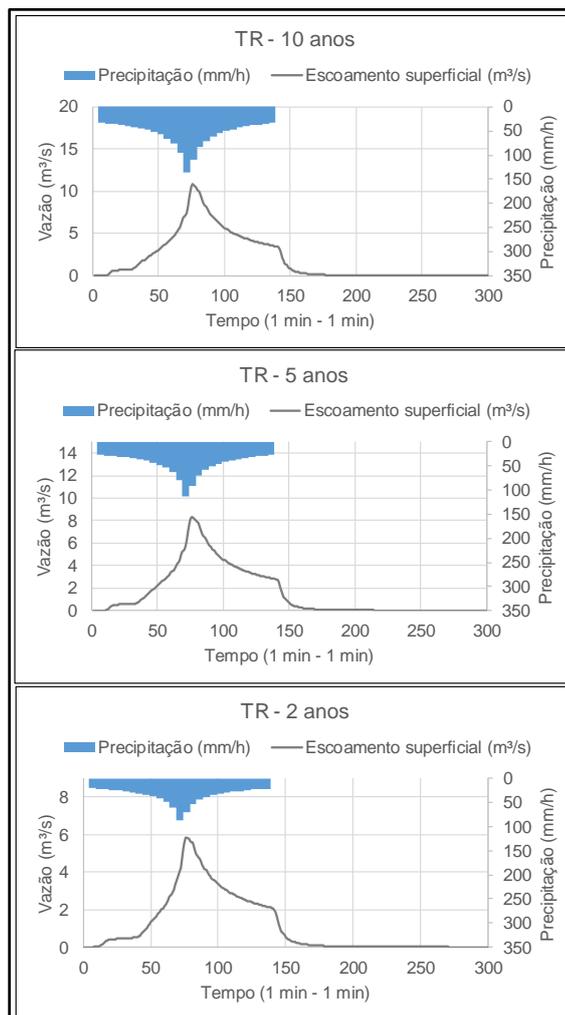
5.2 Simulação na bacia hidrográfica criada (parte do bairro da Gruta de Lourdes)

Nessa etapa, foi realizada a simulação em toda a área de estudo escolhida, para isso foi realizado o levantamento das características de uso e ocupação do solo, que permitiram determinar os parâmetros necessários para o modelo, em cada quadra (Tabela 9).

Depois do levantamento das características e criação da rede de micro drenagem, foram realizadas simulações para eventos sintéticos, com 135 minutos de duração (tempo de concentração da bacia do riacho Reginaldo, onde a área de estudo está inserida) e tempos de retorno de 10, 5 e 2 anos, os hidrogramas gerados podem ser vistos na Figura 22.

É possível observar vazões de pico, gerada pelo escoamento em na bacia hidrográfica do estudo, iguais a 10,83, 8,36 e 5,85 m^3/s para os tempos de retorno de 10, 5 e 2 anos, respectivamente.

Figura 22 - Hidrograma da sub-bacia nas condições atuais para os tempos de retorno de 10, 5 e 2 anos.



Estudos anteriores (PEDROSA, 2008), que realizaram simulações na bacia do riacho Reginaldo, com perfil de ocupação semelhante, encontraram valores de vazão específica semelhantes aos encontrados nestas simulações, para os tempos de retorno 10 e 2 anos e tempo de concentração igual a 135 minutos. Indicando a coerência na geração do escoamento superficial pelo modelo.

Admitindo a capacidade do modelo em gerar um escoamento superficial realista para área de estudo (Figura 22), a partir do hidrograma de projeto, foi considerado um cenário de aumento da ocupação vertical na área, conseqüentemente aumento das áreas impermeáveis, e realizada a simulação da aplicação de biorretenções nesse cenário.

Foi adotado um dreno no fundo da camada de armazenamento com diâmetro em função da área ($0,22 \text{ mm/m}^2$) e expoente de dreno igual 0,5 (orifício circular). Além disso, foi considerada uma altura de berma igual a 100 mm, espessura da camada de solo igual a 500 mm e espessura da camada de armazenamento igual a 400 mm. Os parâmetros utilizados nas biorretenções podem ser vistos na Tabela 15.

Tabela 15 - Parâmetros adotados nas biorretenções

Superfície	
Altura da berma (mm)	100
Fração do volume de vegetação (fração)	0,1
Rugosidade da superfície (n de Manning)	0
Declividade da superfície (%)	0
Solo	
Espessura (mm)	500
Porosidade (fração)	0,3
Capacidade de campo (fração)	0,18
Ponto de murcha (fração)	0,05
Condutividade (mm/h)	450
Curva de condutividade	20
Capilaridade do solo (mm)	30
Armazenamento	
Espessura (mm)	400
Volume de vazios (fração)	0,35
Taxa de infiltração (mm/h)	0
Fator de colmatação	0

Fonte: Autor (2019).

A partir dos parâmetros da biorretenção e do cenário do crescimento do perfil de ocupação vertical na área de estudo, ao qual foi estimada uma substituição em 60% das áreas

residenciais horizontais para áreas residenciais verticais (Tabela 10), foram realizadas mais duas simulações no modelo.

A primeira simulação foi para o cenário futuro do aumento de 60% de ocupação vertical sem a aplicação dos dispositivos de biorretenção. Em seguida, foi realizada a simulação para aplicação de dispositivos de biorretenção nesse cenário futuro, onde as características das biorretenções, nos lotes em que foram aplicadas, podem ser vistas na Tabela 16.

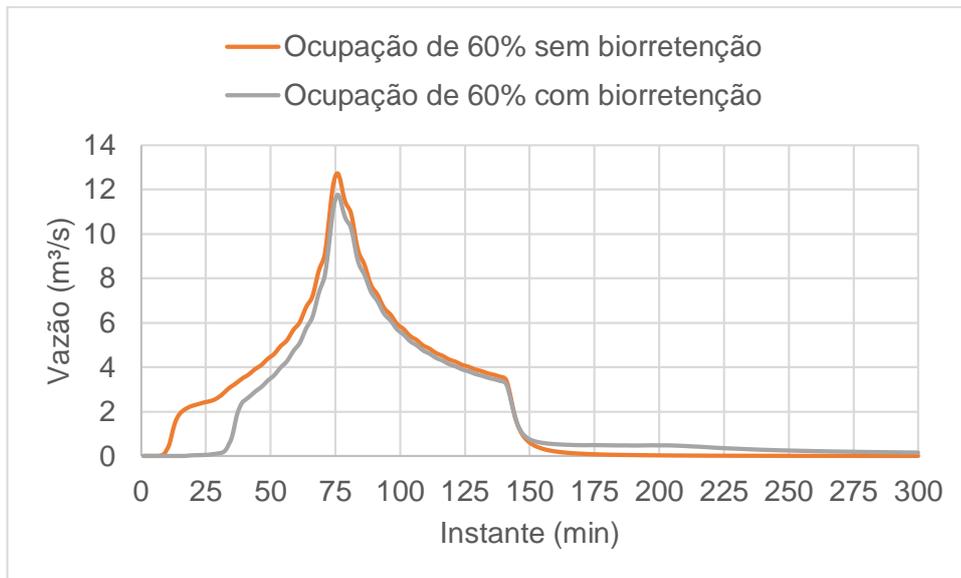
Tabela 16 - Características das biorretenções nos lotes

Sub-bacia	Área da biorretenção (m²)	Diâmetro do dreno (mm)	Coefficiente do dreno (mm/h)
S1	322,47	75,00	4,15
S2	283,05	60,00	3,02
S3	209,70	50,00	2,83
S4	310,11	60,00	2,76
S5	542,07	100,00	4,38
S6	749,90	150,00	7,13
S7	923,54	200,00	10,29
S8	313,80	60,00	2,73
S9	394,50	75,00	3,39
S10	456,30	100,00	5,21
S11	0,00	0,00	0,00
S12	1211,40	250,00	12,26
S13	272,10	50,00	2,18
S14	319,50	75,00	4,18
S15	313,20	60,00	2,73
S16	315,00	60,00	2,72
S17	103,50	20,00	0,92
S18	211,20	40,00	1,80
S19	597,60	125,00	6,21
S20	99,00	20,00	0,96
S21	0,00	0,00	0,00
S22	0,00	0,00	0,00
S23	0,00	0,00	0,00
S24	99,00	20,00	0,96
S25	93,60	20,00	1,02
S26	208,50	40,00	1,82
S27	206,85	40,00	1,84
S28	433,35	85,00	3,96
S29	633,60	125,00	5,86
S30	303,00	60,00	2,82
S31	256,38	50,00	2,32
S32	270,00	50,00	2,20

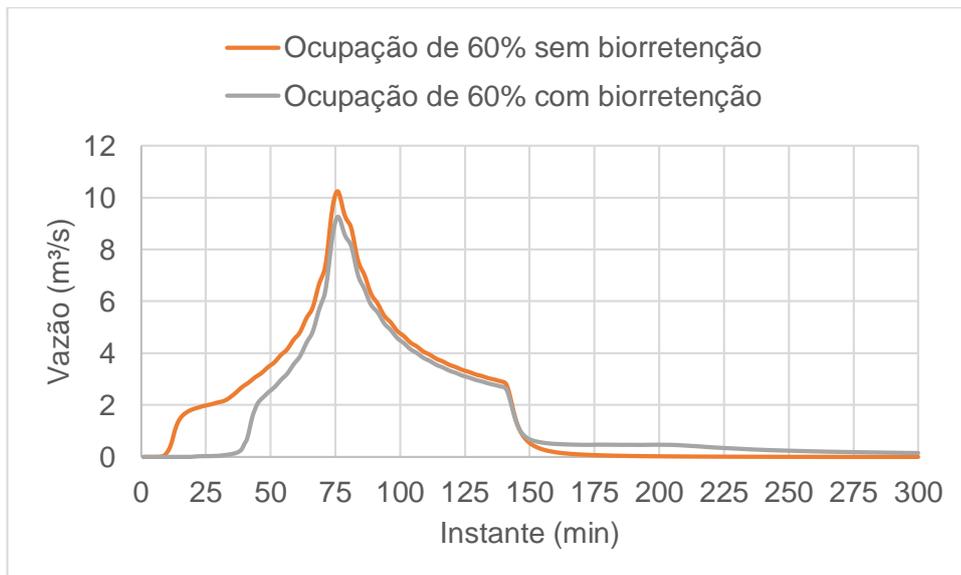
Sub-bacia	Área da biorretenção (m²)	Diâmetro do dreno (mm)	Coefficiente do dreno (mm/h)
S33	257,85	50,00	2,30
S34	317,78	60,00	2,69
S35	188,10	40,00	2,02
S36	579,60	125,00	6,41
S37	0,00	0,00	0,00
S38	43,80	10,00	0,54
S39	36,00	10,00	0,66
S40	270,00	50,00	2,20
S41	370,35	75,00	3,61
S42	355,50	75,00	3,76
S43	936,00	200,00	10,15
S44	320,85	60,00	2,67
S45	106,50	20,00	0,89
S46	351,75	75,00	3,80
S47	407,40	85,00	4,21
S48	427,35	85,00	4,02
S49	198,00	40,00	1,92
S50	39,50	10,00	0,60
S51	1600,20	350,00	18,19

Fonte: Autor (2019).

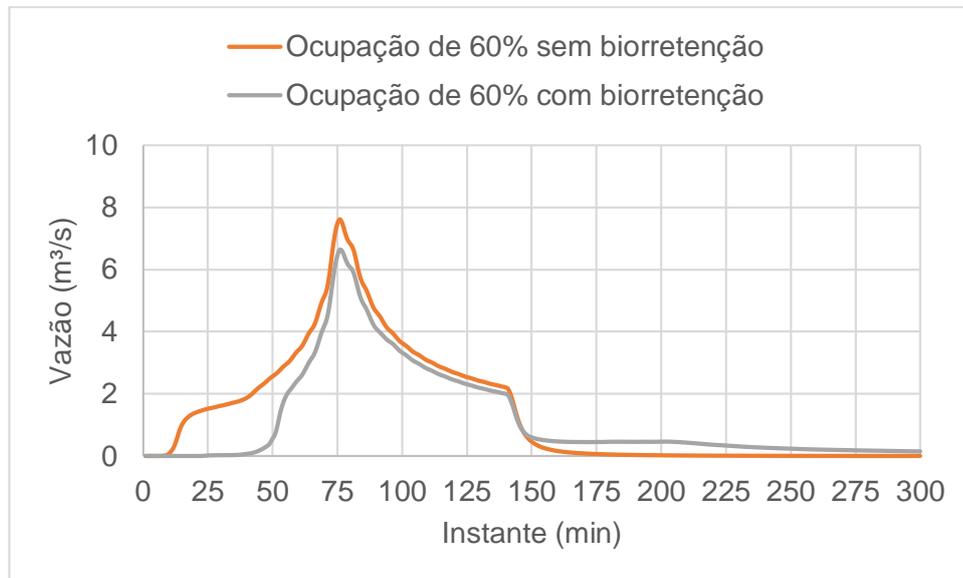
Os hidrogramas da Figura 23, Figura 24 e Figura 25 mostram o escoamento gerado pela sub-bacia do bairro da gruta, a partir da chuva de projeto com diferentes tempos de retorno (Figura 8), para os cenários de ocupação futura (aumento de 60% da área impermeável), sem e com a aplicação de dispositivos de biorretenção.

Figura 23 - Escoamento superficial no exutório da área de estudo para tempo de retorno de 10 anos

Fonte: Autor (2019).

Figura 24 - Escoamento superficial no exutório da área de estudo para tempo de retorno de 5 anos

Fonte: Autor (2019).

Figura 25 - Escoamento superficial no exutório da área de estudo para tempo de retorno de 2 anos

Fonte: Autor (2019).

Como é possível observar, com a aplicação de biorretenções, foi possível obter uma redução na vazão de pico, comparando o cenário de ocupação sem biorretenção e com biorretenção, em todos os eventos simulados. Os valores na redução da vazão de pico variaram entre 8,19 a 19,45%.

6. CONCLUSÕES

As simulações realizadas para diferentes espessuras (altura, para o caso da camada superficial) das camadas de uma biorretenção, possibilitaram observar a relação entre as alturas das camadas e o potencial de redução da vazão de pico, para o lote em estudo. Onde as camadas de solo e armazenamento apresentaram respostas menos significantes, no sentido da redução da vazão de pico, quando comparadas as respostas da variação da altura da camada superficial. Ou seja, o aumento da espessura das camadas da biorretenção preenchidas com solo ou outros materiais mostraram-se menos eficientes do que o aumento da camada superficial (altura da berma), quando se objetiva apenas a redução da vazão de pico do escoamento.

Embora os resultados citados acima sugiram que seria mais adequado um dispositivo com maior capacidade de armazenamento, como um reservatório, existe a exigência, no código de urbanismo e edificações de Maceió, da garantia de permeabilidade do terreno a qual não se alinha com a utilização de reservatórios de armazenamento.

Quanto a variação do diâmetro do dreno de fundo, nas condições simuladas deste estudo, as configurações que os drenos de menores diâmetros se mostraram mais eficazes em relação aos de maior diâmetro quanto à redução da vazão de pico do escoamento. A redução do diâmetro do dreno possibilitou uma retenção maior do volume de água no dispositivo.

O resultado da aplicação do dispositivo em 7,5% do total da área impermeável, com cerca de 3.000 m², mostrou que é possível utilizar uma área menor do que a prevista pelo Código de edificações e urbanismo de Maceió, para taxa de permeabilidade, e alcançar um efeito melhor na redução da vazão de pico, quando comparado ao caso de aplicação na íntegra do código, para todos os tempos de retorno avaliados. Por outro lado, para frações muito menores (5, 3 e 1%) do total da área impermeável, só se mostraram melhores que a aplicação do código para o tempo de retorno de 2 anos.

Diante do exposto, a combinação de diferentes aspectos construtivos da biorretenção (espessura das camadas, diâmetro do dreno e área superficial), podem fazer com que os construtores ganhem uma maior área útil, uma vez que a aplicação do dispositivo de biorretenção consegue superar o potencial da redução da vazão de pico, em comparação a aplicação da taxa de permeabilidade. Ou seja, o dispositivo de biorretenção permite um aumento da área impermeável do lote ao mesmo tempo que promove a redução da vazão de pico do escoamento gerado. Deve-se destacar que aqui estão sendo consideradas apenas as condições previstas no Código de Edificações e Urbanismo em relação à taxa de

permeabilidade, ou seja, as vazões são crescentes (em relação à condição natural) mesmo com a aplicação de biorretenção. O que o uso da biorretenção simulada permite é a redução da taxa de permeabilidade mantendo as condições que esta taxa propiciaria ao escoamento.

Quanto a aplicação do dispositivo de biorretenção em escala de bacia, os resultados obtidos mostraram-se importantes na redução de vazão de pico, conseguido reduções entre 8,19 a 19,45% ao aplicar os dispositivos em apenas uma parcela da área impermeabilizada (7,5, 5 ou 2,5%, dependendo área total do lote), visando um cenário futuro de aumento de 60% da impermeabilização na área de estudo. O que mostra a importância do incentivo, por parte do setor público, a utilização destes tipos de dispositivos como medidas compensatórias frente ao aumento da urbanização.

RECOMENDAÇÕES

A partir do que foi avaliado neste trabalho, sugerem-se algumas recomendações, são estas:

- Avaliar o efeito da aplicação de diferentes tipos de solo na redução da vazão de pico, principalmente no sentido da variação da porosidade e condutividade hidráulica do solo. Assim como a aplicação de diferentes preenchimentos na camada de armazenamento, de forma a variar o volume de vazios nesta camada.
- Avaliar a utilização de mais de um dreno, em diferentes alturas. Embora ainda não exista essa possibilidade no modelo, já foram feitos estudos e foi sugerido um novo código para o modelo visando esta situação (MOGENFELT, 2017), portando, acredita-se que essa opção estará disponível em versões futuras do modelo.
- Criar a possibilidade de utilizar como dado de entrada, no modelo, uma taxa de infiltração variável (na camada de armazenamento da biorretenção) em função da altura do nível da água no interior do dispositivo.
- Avaliar os aspectos (balanços) financeiros da aplicação da biorretenção e aumento da área impermeável. Uma vez que, ao utilizar o dispositivo como alternativa a taxa de permeabilidade, existe a possibilidade do aumento da área útil comercializável.

REFERÊNCIAS

ANTONIO, G. B.; NEVES, M. G. F. P. FATORES RELEVANTES NA ESTIMAÇÃO DO VALOR DA VAZÃO ESPECÍFICA DE RESTRIÇÃO. ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIO REGINALDO EM MACEIÓ-AL. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 6, p. 110–125, 2018.

BARROS, A. M. de. **Estudo de medidas descentralizadas para o controle do escoamento urbano: aplicação à Bacia Hidrográfica do Riacho do Sapo-Maceió**. 2015. Dissertação (mestrado em recursos hídricos e saneamento) - Universidade Federal de Alagoas, 2015.

BELO HORIZONTE. **Lei 7.166 de 27 de agosto de 1996. Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no Município**. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/mg/b/belo-horizonte/lei-ordinaria/1996/716/7166/lei-ordinaria-n-7166-1996-estabelece-normas-e-condicoes-para-parcelamento-ocupacao-e-uso-do-solo-urbano-no-municipio>>. Acesso em: 27 jan. 2019.

BLECKEN, G. T. et al. Stormwater control measure (SCM) maintenance considerations to ensure designed functionality. **Urban Water Journal**, v. 14, n. 3, p. 278–290, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/1573062X.2015.1111913>>.

BRAGA, R. M. B. **Estudo da remoção de poluentes de águas da drenagem urbana por um dispositivo de biorretenção**. 2017. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas, 2017.

CADORE, R. C. **Regina Cera Cadore**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2016.

CHI. **PCSWMM Support**. Disponível em: <<https://support.chiwater.com/83629/estimating-the-lid-drain-coefficient>>. Acesso em: 27 set. 2018.

CURITIBA. **Decreto 176 de 20 de março de 2007. Dispõe sobre os critérios para implantação dos mecanismos de contenção de cheias**. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/pr/c/curitiba/decreto/2007/17/176/lei-organica-curitiba-pr>>. Acesso em: 27 jan. 2019.

DANIEL JÚNIOR, J. J. **Avaliação de uma Biorretenção como estrutura sustentável de drenagem urbana**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2013.

DAVIS, A. P. Field Performance of Bioretention: Water Quality. **Environmental Engineering Science**, v. 24, n. 8, p. 1048–1064, 2007. Disponível em: <<http://www.liebertonline.com/doi/abs/10.1089/ees.2006.0190>>.

DAVIS, A. P. Field Performance of Bioretention: Hydrology Impacts. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 13, n. 2, p. 90–95, 2008. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%291084-0699%282008%2913%3A2%2890%29>>.

DERNARDIN, J. E.; FREITAS, P. L. de. Características fundamentais de chuva no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, 1982.

DRUMOND, P. de P. **Estudo da influência da reservação de águas pluviais em lotes no município de Belo Horizonte, MG: Avaliação hidráulica e hidrológica**. 2012. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia UFMG, 2012.

EPA, E. P. A. **Storm Water Management Model (SWMM)**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

FENG, Y.; BURIAN, S.; POMEROY, C. Potential of green infrastructure to restore predevelopment water budget of a semi-arid urban catchment. **Journal of Hydrology**, v. 542, p. 744–755, 2016.

FERREIRA, L. T. L. M. **Avaliação do funcionamento de um dispositivo de biorretenção: monitoramento e modelagem**. 2017. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas, 2017.

FLETCHER, T. D. et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 7, p. 525–542, 2015.

FLETCHER, T. D.; ANDRIEU, H.; HAMEL, P. Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. **Advances in Water Resources**, v. 51, p. 261–279, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.09.001>>.

GAO, J. et al. Hydrologic performance of bioretention in an expressway service area. **Water Science and Technology**, v. 77, n. 7, p. 1829–1837, 2018.

GIRONAS, J.; ROESNER, L. A.; DAVIS, J. **Storm Water Management Model Application Manual** Fort Collins, CO, 2009. .

GOH, H. W. et al. Mesocosm study of enhanced bioretention media in treating nutrient rich stormwater for mixed development area. **Urban Water Journal**, v. 14, n. 2, p. 134–142, 2017.

GOULDEN, S. et al. From conventional drainage to sustainable stormwater management: Beyond the technical challenges. **Journal of Environmental Management**, v. 219, p. 37–45, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.066>>.

HAMEL, P.; FLETCHER, T. D. The impact of stormwater source-control strategies on the (low) flow regime of urban catchments. **Water Science and Technology**, v. 69, n. 4, p. 739–745, 2014.

KIDD, C. H. R. Rainfall-runoff processes over urban surfaces. In: Proceedings International Workshop held at the Institute of Hydrology, Wallingford, Oxon, England. **Anais...** Wallingford, Oxon, England: 1978.

LARENTIS, D. **Conceitos da drenagem urbana (Artigo 1 de 3)**. Disponível em: <<http://rhama.com.br/blog/index.php/aguas-urbanas/conceitos-da-drenagem-urbana/>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

LÔBO, M. L. L. **A GOTA D'ÁGUA: A OCUPAÇÃO INTRALOTE NA PLANÍCIE LITORÂNEA DA CIDADE DE MACEIÓ -AL E O MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS**. 2018. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Alagoas, 2018.

MACEDO, M. B. de et al. Learning from the operation, pathology and maintenance of a bioretention system to optimize urban drainage practices. **Journal of Environmental Management**, v. 204, p. 454–466, 2017.

MACEDO, M. B. De et al. Performance of bioretention experimental devices : contrasting laboratory and field scales through controlled experiments. v. 23, 2018.

MACEIÓ. **Lei municipal n. 5.593, de 08 de fevereiro de 2007. Código de urbanismo e edificações do município de Maceió**. Disponível em: <http://www.serveal.al.gov.br/legislacao/codigos/Lei_nb0_5.593_2007_Edif_e_Urb_Mcz.doc/view>. Acesso em: 27 jan. 2019.

MANGANGKA, I. R. et al. Performance characterisation of a stormwater treatment bioretention basin. **Journal of Environmental Management**, v. 150, p. 173–178, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.007>>.

MENEZES, M. C. de. **Construção de um dispositivo de biorretenção no Centro de Tecnologia - UFAL**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas, 2015.

MOGENFELT, P. **Modeling LID-units in SWMM -A review of the current approach with suggestions for improvement**. 2017. Lund University, 2017. Disponível em: <<http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=8928265&fileId=8928266>>.

PEDROSA, H. F. dos S. **Avaliação do Impacto da Aplicação das Diretrizes do Plano Diretor de Maceió, Sobre o escoamento Superficial. Estudo de Caso: Bacia do Riacho Reginaldo**. 2008. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas, 2008.

PEPLAU, G. J. R.; NEVES, M. G. F. P. Análise de critérios para a determinação da vazão de restrição ao escoamento superficial urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 4, p. 97–106, 2014.

PORTO ALEGRE. **Decreto 15.371 de 17 de novembro de 2006. Regulamenta o controle da drenagem urbana**. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs?s1=000028692.DOCN.&l=20&u=/netahtml/sirel/simples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT>>. Acesso em: 27 jan. 2019.

PRINCE GEORGE'S COUNTY. Bioretention Manual. **Programs & Planning Division**, 2002.

RIO DE JANEIRO. **Decreto 23.940 de 30 de janeiro de 2004. Torna obrigatório, nos casos previstos, a adoção de reservatórios que permitam o retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem.** Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/rj/r/rio-de-janeiro/decreto/2004/2394/23940/decreto-n-23940-2004-torna-obrigatorio-nos-casos-previstos-a-adocao-de-reservatorios-que-permitam-o-retardo-do-escoamento-das-aguas-pluviais-para-a-rede-de-drenagem>>. Acesso em: 27 jan. 2019.

ROSA, A. **Bioretention for diffuse pollution control in suds using experimental-adaptive approaches of echohydrology.** 2016. Tese (Pós-graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2016.

ROSENDO, A. A. **Avaliação de métodos e critérios para dimensionamento de dispositivos de biorretenção.** 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Alagoas., 2013.

ROSSMAN, L. A. Storm Water Management Model User's Manual. n. EPA/600/R-14/413b, p. 1–353, 2015. Disponível em: <<http://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>>.

ROSSMAN, L. A.; HUBER, W. C. **Storm Water Management Model Reference Manual Volume III – Water Quality.** Disponível em: <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100P2NY.PDF?Dockey=P100P2NY.PDF>>. Acesso em: 20 jan. 2019.

SÃO PAULO. **Lei 13.276 de 04 de janeiro de 2002. Torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500,00m² (quinhentos metros quadrados).** Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/sp/s/sao-paulo/lei-ordinaria/2002/1327/13276/lei-ordinaria-n-13276-2002-torna-obrigatoria-a-execucao-de-reservatorio-para-as-aguas-coletadas-por-coberturas-e-pavimentos-nos-lotes-edificados-ou-nao-que-tenham-area-impermeabi>>. Acesso em: 27 jan. 2019.

SARTORI, A. **Avaliação da classificação hidrológica do solo para a determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos.** 2004. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - Universidade Estadual de Campinas, 2004.

SILVA, V. J. **Modelagem de biorretenção com uso de modelo concentrado.** 2018. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas, 2018.

TAHVONEN, O. Adapting bioretention construction details to local practices in Finland. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 2, 2018.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** Porto Alegre, Rs: UFRGS/ABRH, 1993.

USDA, S. **Urban Hydrology for Small Watershed** Soil Conservation Service Washington, DC, 1986. . Disponível em: <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Urban+Hydrology+for+Small+watersheds#1>>.

XIA, J. et al. Hydrologic and water quality performance of a laboratory scale bioretention unit. **Frontiers of Environmental Science and Engineering**, v. 12, n. 1, p. 1–9, 2018.

YANG, Y.; CHUI, T. F. M. Optimizing surface and contributing areas of bioretention cells for stormwater runoff quality and quantity management. **Journal of Environmental Management**, v. 206, p. 1090–1103, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.064>>.